

**OPTICAL ELEMENT PRODUCING METHOD, BASE MATERIAL DRAWING
METHOD AND BASE MATERIAL DRAWING APPARATUS**

BACKGROUND OF THE INVENTION

本発明は、光学素子形成方法、基材の描画方法及び電子ビーム描画装置に関し、特に、微細な形状を有する精密な光学素子の光学機能面に回折構造などの微細構造を描画するものに関する。

近年、情報記録媒体として、例えばCD、DVD等が広く使用されており、これらの記録媒体を読み取る読取装置などの精密機器には、多くの光学素子が利用されている。これらの機器に利用される光学素子、例えば光レンズなどは、低コスト化並びに小型化の観点から、ガラス製の光レンズよりも樹脂製の光レンズを用いることが多い。

このような樹脂製の光レンズは、一般の射出成形によって製造されており、射出成形用の成型型も、一般的な切削加工によって形成されている。

ところで、最近では、光学素子に要求されるスペックや性能自体が向上してき

ており、例えば、光学機能面に回折構造などを有する光学素子を製造する際に、当該光学素子を射出成形するためには、成型型にそのような回折構造を付与するための面を形成しておく必要がある。

しかし、現在用いられているような成型技術や加工技術の切削バイトにて、成型型にそうした回折構造などの微細な形状を形成しようとすると、加工精度が劣るとともに、バイトの強度、寿命の点で限界があり、サブミクロンオーダーあるいはそれ以下の精密な加工を行うことができない。

特に CD-ROM のピックアップレンズと比較して、DVD 等の媒体におけるピックアップレンズでは記録密度の増加に対して、より精度の高い回折構造が要求され、光の波長より小さいレベル、例えば nm レベルでの加工精度が求められる。しかし上述のように従来の切削加工ではこうした加工精度は得られなかった。

一方、光学素子などを含む基材の表面上に所望の形状を描画加工するものとしては、光露光などの手法、例えばマスク露光を用いた露光装置などによって加工を行うことが行われている。

例えば、半導体のウエハ基板（フォトマスク）等の基材の表面に所望の形状を描画加工するための露光装置などを上記光学素子の面への加工もしくは成型型の加工などに用いることが考えられる。しかしながらウエハ基板用の装置は、平坦な材料しか加工することができないという問題がある。またウエハ基板用の装置では、基材の加工深さは、照射する光の露光エネルギー量で制御するが、光学素子のための回折格子などの精密加工、あるいはフォトニック結晶の作成などの場合、照射される光の波長より短い構造をレンズのような非平面上に正確に形成す

必要がある。そのため上記制御手法の露光装置では求められるレベルの微細な加工には適さない。

さらに、レーザービームによる加工が考えられるが、レーザービームではミクロンレベルの加工では用いられることがあるものの、ビーム径を光学的に制御しており、ビームの集束に限界がある。従ってサブミクロンレベル、特に光の波長に近いレベルの加工は困難である。また焦点深度についても深い焦点深度が得られず、オートフォーカス等のメカニカルな手段を常に用いる必要があり、これも精度の高い加工を阻む要因となっていた。特に曲面形状（ここではマクロ的に変化する面を有する3次元形状を含む）を有する光学素子の描画で高い精度が要求された時にはこの問題は顕著なものとなる。

従って平面状の基材を描画加工する場合は良いが、光レンズ用の成型型など、曲面等のダイナミックな3次元形状を有する基材に微細な形状を描画する場合には適さないという問題があった。

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、非平面形状の光学素子等の基材上に回折格子などの微細構造の描画加工を施すことである。

また高密度化に伴う前記光レンズの曲率が大きくなると、当該光レンズの周辺部においては、表面反射が増加する。このため、このような表面反射の低減を図るために、通常、光レンズの表面に対して誘電体膜を蒸着により一層あるいは多層形成することで、光レンズに対する表面反射防止が行われている。

しかし、蒸着により誘電体膜を形成する手法では、光レンズの1つ1つに対し、

蒸着プロセスを行う必要があり、生産性の低下を招いていた。

前述したような光レンズを利用した読取装置などの光ピックアップ装置の一例として、例えば図30に示すようなものが挙げられる。

同図に示す光ピックアップ装置500では、半導体レーザー501からのレーザー光は、コリメートレンズ502で平行光となり、分離プリズム503で対物レンズ504側に反射され、対物レンズ504によって回折限界まで集光されて光磁気ディスク505（光磁気記録媒体）に照射される。

光磁気ディスク505からのレーザー反射光は、対物レンズ504に入光して再び平行光となり、分離プリズム503を透過し、更に、 $1/2$ 波長板506を透過し偏光方位を変えた後、偏光分離素子507に入射し、この偏光分離素子507で、光路が近接したP、S両偏光からなる2つの光束に分離される。前記P、S両偏光の光束はそれぞれ集光レンズ508、シリンドリカルレンズ509によって集光されて、分割光検出器510の分離受光領域（受光素子）にそれぞれのスポットを形成する。

こうした光ピックアップ装置においては、前記光レンズの表面反射の増加のみならず、入射する光の偏光の向きにより、透過率の違いが大きくなり、検出信号の読み取り処理においてピックアップ機能の低下を招いていた。

さらに、DVD、CD互換等の収差補正のために、光レンズの表面に回折格子を形成したものにあっては、格子密度によって入射する光の入射角度の増え方が大きくなり、ピックアップ機能低下の影響が大きくなる。

本発明の他の目的は誘電体膜を形成することなく表面反射の低減を図ることが

でき、ピックアップ機能の低下を防止することである。

ところで、従来の光ピックアップ装置では、使用される光学素子などの取り付け部材点数が多く、コストが高くなるという問題があった。しかも、偏光分離素子や波長板などを製造するためには、基材の表面に対して所定の形状を得るためのプロセスを行う必要があるが、偏光分離素子や波長板の1つ1つに対し、当該プロセスを行う必要があり、量産化の観点から好ましくなく、生産性の低下を招いていた。

さらに、前記偏光分離素子や波長板を含む各種光学部材が配置される占有空間が大きくなり、当該光ピックアップ装置などの小型化に寄与できないという問題があった。

本発明の他の目的は、光ピックアップ装置、光学素子などの生産性の低下を防止しながらも、装置の小型化に寄与でき、それらに用いられる光学素子などの基材に対して、サブミクロンオーダーでの3次元的に変化する基材の加工を可能とすることである。

SUMMARY OF THE INVENTION

上記課題を解決するために本発明は以下の構成を有する。

- (1) 微細パターンを有する光学素子を形成するための光学素子加工方法であって、

以下を有する、

光学素子に対応し、被描画層を含む基材に、所定のパターンを形成するための描画ステップ

ここで前記被描画層が曲面を有するとともに、前記被描画層に対して電子ビームを照射することにより、前記所定のパターンの描画を行う。

(2) 被描画層を含む基材に、所定のパターンを形成するための描画装置であって、以下を有する、

曲面を有する前記被描画層に対応して、前記基材に対する電子ビームの焦点位置を相対的に移動する移動手段、

前記被描画層に対して電子ビームを照射することにより、前記所定のパターンの描画を行うための電子ビーム照射手段。

(3) 上記 (1) または (2) によって、形成された光学素子。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図 1 は本発明の電子ビーム描画装置の全体の概略構成を示す説明図である。

図 2 (A) と 2 (B) は、図 1 の電子ビーム描画装置にて描画される基材を示す説明図であり、図 2 (C) は、描画原理を説明するための説明図である。

図 3 は測定装置の原理を説明するための説明図である。

図 4 は測定装置の原理を説明するための説明図である。

図 5 (A) ～ 5 (C) は、基材の面高さを測定する手法を説明するための説明図である。

図 6 は測定装置の投光と受光との関係を示す説明図である。

図 7 は信号出力と基材の高さとの関係を示す特性図である。

図 8 は本発明の電子ビーム描画装置にて基材を描画する場合の処理手順を示す

フローチャートである。

図 9 は基材を載置ずるステージを Z 方向に制御する手順を示すフローチャートである。

図 10 は本発明の電子ビーム描画装置にて電子レンズに流す電流を制御する処理手順を示すフローチャートである。

図 11 は描画中に補正する処理手順を示すフローチャートである。

図 12 は基材上の描画すべき位置を換算する場合の処理手順を示す説明図である。

図 13 (A) ~ 13 (F) は、基材を用いて成形用の金型を形成する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図 14 は電子ビーム描画装置におけるビームウエストを説明するための説明図である。

図 15 は本発明の基材の概略構成の一例を示す説明図である。

図 16 は図 15 の基材の要部を詳細に示す説明図である。

図 17 は電子ビーム描画装置において、所定のドーズ分布にて描画を行うための制御系の詳細を示す機能ブロック図である。

図 18 は電子ビーム描画装置のさらに詳細な制御系の構成を示す機能ブロック図である。

図 19 は基材上のラジアル位置と表面反射率との関係を示した特性図である。

図 20 は基材上のラジアル位置と表面反射率との関係を示した特性図である。

図 21 は基材上のラジアル位置と表面反射率との関係を示した特性図である。

図 2 2 は基材上のラジアル位置と表面反射率との関係を示した特性図である。

図 2 3 は特性図を算出するための条件を説明するための説明図である。

図 2 4 は本発明の電子ビーム描画装置にて基材を描画する場合の処理手順を示すフローチャートである。

図 2 5 は本発明の電子ビーム描画装置にて基材を描画する場合の処理手順を示すフローチャートである。

図 2 6 は本発明の電子ビーム描画装置にて基材を描画する場合の処理手順を示すフローチャートである。

図 2 7 (A) は、描画パターンを示す説明図であり、図 2 7 (B) は、ドーズ分布を示す説明図である。

図 2 8 (A) ~ 2 8 (D) は、基材を用いて成形用の金型を形成する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図 2 9 (A) ~ 2 9 (C) は、基材を用いて成形用の金型を形成する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図 3 0 は本発明の基材を利用した光ピックアップ装置の概略を示す説明図である。

図 3 1 は本発明の実施の形態にかかる基材の概略構成の一例を示す説明図である。

図 3 2 は本発明の実施の形態にかかる基材の概略構成の一例を示す説明図である。

図 3 3 は偏光分離素子と波長板を用いた光学系の原理を説明するための説明図

である。

図34(A)と34(B)は、波長板によって生成されるTM波、TE波の特性を示す説明図である。

図35(A)と35(B)は、偏光分離素子によって生成されるTM波、TE波の特性を示す説明図である。

図36は本発明の電子ビーム描画装置にて基材を描画する場合の処理手順を示すフローチャートである。

図37(A)～37(D)は、基材を用いて成形用の金型を形成し、基材を製造する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図38(A)～38(C)は、基材を用いて成形用の金型を形成し、基材を製造する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図39(A)～39(D)は、基材を用いて成形用の金型を形成し、基材を製造する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図40(A)～40(C)は、基材を用いて成形用の金型を形成し、基材を製造する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図41は本発明の基材を利用した光ピックアップ装置の概略を示す説明図である。

図42は本発明の実施の形態にかかる基材の概略構成の一例を示す説明図である。

図43は図42の基材上に形成される偏光分離層の原理を説明するための説明図である。

図 4 4 は本発明の実施の形態にかかる基材の概略構成の一例を示す説明図である。

図 4 5 (A) ~ 4 5 (D) は、基材を用いて成形用の金型を形成し、基材を製造する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図 4 6 (A) ~ 4 6 (C) は、基材を用いて成形用の金型を形成し、基材を製造する場合の全体の処理手順を説明するための説明図である。

図 4 7 は成形用の金型により製造された基材の一例を説明するための説明図である。

図 4 8 は本発明の基材を利用した光ピックアップ装置の概略を示す説明図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

以下、本発明の好適な実施の形態の一例について、図面を参照して具体的に説明する。

[第 1 の実施の形態]

(電子ビーム描画装置の全体構成)

先ず、本発明の特徴である曲面を有する基材に描画を行う手法の説明に先立って、電子ビーム描画装置の全体の概略構成について、図 1 を参照して説明する。

図 1 は、本例の電子ビーム描画装置の全体構成を示す説明図である。

本例の電子ビーム描画装置 1 は、図 1 に示すように、大電流で高解像度の電子線プローブを形成して高速に描画対象の基材 2 上を走査するものであり、高解像

度の電子線プローブを形成し、電子ビームを生成してターゲットに対してビーム照射を行う電子ビーム生成手段である電子銃12と、この電子銃12からの電子ビームを通過させるスリット14と、スリット14を通過する電子ビームの前記基材2に対する焦点位置を制御するための電子レンズ16と、電子ビームが出射される経路上に配設されたアパーチャー18と、電子ビームを偏向させることでターゲットである基材2上の走査位置等を制御する偏向器20と、偏向を補正する補正用コイル22と、を含んで構成されている。なお、これらの各部は、鏡筒10内に配設されて電子ビーム出射時には真空状態に維持される。

さらに、電子ビーム描画装置1は、描画対象となる基材2を載置するための載置台であるXYZステージ30と、このXYZステージ30上の載置位置に基材2を搬送するための搬送手段であるローダ40と、XYZステージ30上の基材2の表面の基準点を測定するための測定手段である測定装置80と、XYZステージ30を駆動するための駆動手段であるステージ駆動手段50と、ローダを駆動するためのローダ駆動装置60と、鏡筒10内及びXYZステージ30を含む管体11内を真空となるように排気を行う真空排気装置70と、これらの制御を司る制御手段である制御回路100と、を含んで構成されている。

なお、電子レンズ16は、高さ方向に沿って複数箇所に離間して設置される各コイル17a、17b、17cの各々の電流値によって電子的なレンズが複数生成されることで各々制御され、電子ビームの焦点位置が制御される。

測定装置80は、基材2に対してレーザーを照射することで基材2を測定する第1のレーザー測長器82と、第1のレーザー測長器82にて発光されたレーザ

一光（第1の照射光）が基材2を反射し当該反射光を受光する第1の受光部84と、前記第1のレーザー測長器82とは異なる照射角度から照射を行う第2のレーザー測長器86と、前記第2のレーザー測長器86にて発光されたレーザー光（第2の照射光）が基材2を反射し当該反射光を受光する第2の受光部88と、を含んで構成されている。なお、本例の第1のレーザー測長器と第1の受光部とで本発明の「第1の光学系」を構成し、第2のレーザー測長器と第2の受光部とで本発明の「第2の光学系」を構成している。

ステージ駆動手段50は、XYZステージ30をX方向に駆動するX方向駆動機構52と、XYZステージ30をY方向に駆動するY方向駆動機構54と、XYZステージ30をZ方向に駆動するZ方向駆動機構56と、XYZステージ30を θ 方向に駆動する θ 方向駆動機構58と、を含んで構成されている。これによって、XYZステージ30を3次元的に動作させたり、アライメントを行うことができる。

制御回路100は、電子銃12に電源を供給するための電子銃電源部102と、この電子銃電源部102での電流、電圧などを調整制御する電子銃制御部104と、電子レンズ16（複数の各電子的なレンズを各々）を動作させるためのレンズ電源部106と、このレンズ電源部106での各電子レンズに対応する各電流を調整制御するレンズ制御部108と、を含んで構成される。

さらに、制御回路100は、補正用コイル22を制御するためのコイル制御部110と、偏向器20にて成形方向の偏向を行う成形偏向部112aと、偏向器20にて副走査方向の偏向を行うための副偏向部112bと、偏向器20にて主

走査方向の偏向を行うための主偏向部 112c と、成形偏向部 112a を制御するためにデジタル信号をアナログ信号に変換制御する高速 D/A 変換器 114a と、副偏向部 112b を制御するためにデジタル信号をアナログ信号に変換制御する高速 D/A 変換器 114b と、主偏向部 112c を制御するためにデジタル信号をアナログ信号に変換制御する高精度 D/A 変換器 114c と、を含んで構成される。

さらに、制御回路 100 は、偏向器 20 における位置誤差を補正する、乃ち、位置誤差補正信号などを各高速 D/A 変換器 114a、114b、及び高精度 D/A 変換器 114c に対して供給して位置誤差補正を促すあるいはコイル制御部 110 に対して当該信号を供給することで補正用コイル 22 にて位置誤差補正を行う位置誤差補正回路 116 と、これら位置誤差補正回路 116 並びに各高速 D/A 変換器 114a、114b 及び高精度 D/A 変換器 114c を制御して電子ビームの電界を制御する電界制御手段である電界制御回路 118 と、描画パターンなどを前記基材 2 に対して生成するためのパターン発生回路 120 と、を含んで構成される。

またさらに、制御回路 100 は、第 1 のレーザー測長器 82 を上下左右に移動させることによるレーザー照射位置の移動及びレーザー照射角の角度等の駆動制御を行う第 1 のレーザー駆動制御回路 130 と、第 2 のレーザー測長器 86 を上下左右に移動させることによるレーザー照射位置の移動及びレーザー照射角の角度等の駆動制御を行う第 2 のレーザー駆動制御回路 132 と、第 1 のレーザー測長器 82 でのレーザー照射光の出力（レーザーの光強度）を調整制御するための

第1のレーザー出力制御回路134と、第2のレーザー測長器86でのレーザー照射光の出力を調整制御するための第2のレーザー出力制御回路136と、第1の受光部84での受光結果に基づき、測定結果を算出するための第1の測定算出部140と、第2の受光部88での受光結果に基づき、測定結果を算出するための第2の測定算出部142と、を含んで構成される。

さらにまた、制御回路100は、ステージ駆動手段50を制御するためのステージ制御回路150と、ロード駆動装置60を制御するロード制御回路152と、上述の第1、第2のレーザー駆動回路130、132・第1、第2のレーザー出力制御回路134、136・第1、第2の測定算出部140、142・ステージ制御回路150・ロード制御回路152を制御する機構制御回路154と、真空排気装置70の真空排気を制御する真空排気制御回路156と、測定情報を入力するための測定情報入力部158と、入力された情報や他の複数の情報を記憶するための記憶手段であるメモリ160と、各種制御を行うための制御プログラムを記憶したプログラムメモリ162と、これらの各部の制御を司る例えばCPUなどにて形成された制御部170と、を含んで構成されている。

なお、本例の第1の測定算出部と第2の測定算出部とで、本発明の「測定算出手段」を構成できる。

上述のような構成を有する電子ビーム描画装置1において、ロード40によって搬送された基材2がXYZステージ30上に載置されると、真空排気装置70によって鏡筒10及び筐体11内の空気やダストなどを排気したした後、電子銃12から電子ビームが照射される。

電子銃12から照射された電子ビームは、電子レンズ16を介して偏向器20により偏向され、偏向された電子ビームB（以下、この電子レンズ16を通過後の偏向制御された電子ビームに関してのみ「電子ビームB」と符号を付与することがある）は、XYZステージ30上の基材2の表面、例えば曲面部（曲面）2a上の描画位置に対して照射されることで描画が行われる。

この際に、測定装置80によって、基材2上の描画位置（描画位置のうち少なくとも高さ位置）、もしくは後述するような基準点の位置が測定され、制御回路100は、当該測定結果に基づき、電子レンズ16のコイル17a、17b、17cなどに流れる各電流値などを調整制御して、電子ビームBの焦点深度の位置、すなわち焦点位置を制御し、当該焦点位置が前記描画位置となるように移動制御される。

あるいは、測定結果に基づき、制御回路100は、ステージ駆動手段50を制御することにより、前記電子ビームBの焦点位置が前記描画位置となるようにXYZステージ30を移動させる。

また、本例においては、電子ビームの制御、XYZステージ30の制御のいずれか一方の制御によって行っても、双方を利用して行ってもよい（なお、焦点位置の移動制御の詳細については後述する）。

（測定装置）

次に、測定装置80について、図3を参照しつつ説明する。測定装置80は、より詳細には、図3に示すように、第1のレーザー測長器82、第1の受光部84、第2のレーザー測長器86、第2の受光部88などを有する。

第1のレーザー測長器82により電子ビームと交差する方向から基材2に対して第1の光ビームS1を照射し、基材2の平坦部2bで反射される第1の光ビームS1の受光によって、第1の光強度分布が検出される。

この際に、図3に示すように、第1の光ビームS1は、基材2を平行移動させることで基材2の平坦部2bにて反射されるため、第1の強度分布に基づき、基材2の平坦部2b上の（高さ）位置が測定算出されることになる。しかし、この場合には、基材2の曲面部2a上の（高さ）位置を測定することができない。

そこで、本例においては、さらに第2のレーザー測長器86を設けている。すなわち、第2のレーザー測長器86によって、第1の光ビームS1と異なる電子ビームとほぼ直交する方向から基材2に対して第2の光ビームS2を照射し、基材2を透過する第2の光ビームS2が第2の受光部88に含まれるピンホール84を介して受光されることによって、第2の光強度分布が検出される。

この場合、図5（A）～（C）に示すように、第2の光ビームS2が曲面部2a上を透過することとなるので、前記第2の強度分布に基づき、基材2の平坦部2bより突出する曲面部2a上の（高さ）位置を測定算出することができる。

具体的には、第2の光ビームS2がXY基準座標系における曲面部2a上のある位置（ x 、 y ）の特定の高さを透過すると、この位置（ x 、 y ）において、図5（A）～（C）に示すように、第2の光ビームS2が曲面部2aの曲面にて当たることにより散乱光SS1、SS2が生じ、この散乱光分の光強度が弱まることとなる。このようにして、図6に示すように、第2の受光部88にて検出された第2の光強度分布に基づき、位置が測定算出される。

この算出の際には、図6に示すように、第2の受光部88の信号出力Opは、図7に示す特性図のような、信号出力Opと基材の高さとの相関関係を有するので、制御回路100のメモリ160などにこの特性、すなわち相関関係を示した相関テーブルを予め格納しておくことにより、第2の受光部88での信号出力Opに基づき、基材の高さ位置を算出することができる。

そして、この基材の高さ位置を、例えば描画位置として、前記電子ビームの焦点位置の調整が行われ描画が行われることとなる。

(描画位置算出の原理の概要)

次に、本例の特徴である電子ビーム描画装置1における、描画を行う場合の原理の概要について、説明する。

まず、基材2は、図2(A)(B)に示すように、例えば樹脂等による光学素子例えば光レンズ等にて形成されることが好ましく、断面略平板状の平坦部2bと、この平坦部2bより突出形成された曲面をなす曲面部2aと、を含んで構成されている。この曲面部2aの曲面は、球面に限らず、非球面などの他のあらゆる高さ方向に変化を有する自由曲面であってよい。

このような基材2において、予め基材2をXYZステージ30上に載置する前に、基材2上の複数例えば3個の基準点P00、P01、P02を決定してこの位置を測定しておく(第1の測定)。これによって、例えば、基準点P00とP01によりX軸、基準点P00とP02によりY軸が定義され、3次元座標系における第1の基準座標系が算出される。ここで、第1の基準座標系における高さ位置をH0(x, y)(第1の高さ位置)とする。これによって、基材2の厚み分布

の算出を行うことができる。

一方、基材2をXYZステージ30上に載置した後も、同様の処理を行う。すなわち、図2(A)に示すように、基材2上の複数例えば3個の基準点P10、P11、P12を決定してこの位置を測定しておく(第2の測定)。これによって、例えば、基準点P10とP11によりX軸、基準点P10とP12によりY軸が定義され、3次元座標系における第2の基準座標系が算出される。

さらに、これらの基準点P00、P01、P02、P10、P11、P12により第1の基準座標系を第2の基準座標系に変換するための座標変換行列などを算出して、この座標変換行列を利用して、第2の基準座標系における前記H0(x, y)に対応する高さ位置Hp(x, y)(第2の高さ位置)を算出して、この位置を最適フォーカス位置、すなわち描画位置として電子ビームの焦点位置が合わされるべき位置とすることとなる。これにより、上述の基材2の厚み分布の補正を行うことができる。

なお、上述の第2の測定は、電子ビーム描画装置1の第1の測定手段である測定装置80を用いて測定することができる。

そして、第1の測定は、予め別の場所において他の測定装置を用いて測定しておく必要がある。このような、基材2をXYZステージ30上に載置する前に予め基準点を測定するための測定装置としては、上述の測定装置80と全く同様の構成の測定装置200(第2の測定手段)を採用することができる。

この測定装置200は、図4に示すように、上記測定装置80同様、第1のレーザー測長器282、第2のレーザー測長器286、ピンホール285を含む第

1の受光部284、ピンホール289を含む第2の受光部288、これらの測定結果を算出するための不図示の測定算出部や、各種制御系を備えた付図示の制御手段なども含む。

この場合、測定装置200からの測定結果は、例えば図1に示す測定情報入力部158にて入力されたり、制御回路100と接続される不図示のネットワークを介してデータ転送されて、メモリ160などに格納されることとなる。

もちろん、後述する変形例のような場合に、この測定装置200が不要となる場合も考えられる（詳細は後述する）。

上記のようにして、描画位置が算出されて、電子ビームの焦点位置が制御されて描画が行われることとなる。

具体的には、図2（C）に示すように、電子ビームの焦点深度FZ（ビームウエストBW）の焦点位置を、3次元基準座標系における単位空間の1フィールド（ $m=1$ ）内の描画位置に調整制御する。（この制御は、上述したように、電子レンズ16による電流値の調整もしくはXYZステージ30の駆動制御のいずれか一方又は双方によって行われる。）なお、本例においては、1フィールドの高さを焦点深度FZより長くなるように、フィールドを設定してあるがこれに限定されるものではない。ここで、焦点深度FZとは、図14に示すように、電子レンズ16を介して照射される電子ビームBにおいて、ビームウエストBWが有効な範囲の長さを示す。なお、電子ビームBの場合、図14に示すように、電子レンズ16の幅D、電子レンズ16よりビームウエスト（ビーム径の最も細い所）BWまでの深さfとすると、 D/f は、0.01程度であり、例えば50nm程度

の解像度を有し、焦点深度は例えば数十 μ m 程度ある。

そして、図2 (C) に示すように、例えば1フィールド内をY方向にシフトしつつ順次X方向に走査することにより、1フィールド内の描画が行われることとなる。さらに、1フィールド内において、描画されていない領域があれば、当該領域についても、上述の焦点位置の制御を行いつつZ方向に移動し、同様の走査による描画処理を行うこととなる。

次に、1フィールド内の描画が行われた後、他のフィールド、例えば $m=2$ のフィールド、 $m=3$ のフィールドにおいても、上述同様に、測定や描画位置の算出を行いつつ描画処理がリアルタイムで行われることとなる。このようにして、描画されるべき描画領域について全ての描画が終了すると、基材2の表面における描画処理が終了することとなる。

なお、本例では、この描画領域を被描画層とし、この被描画層における曲面部2aの表面の曲面に該当する部分を被描画面としている。

さらに、上述のような各種演算処理、測定処理、制御処理などの処理を行う処理プログラムは、プログラムメモリ162に予め制御プログラムとして格納されることとなる。

(処理手順について)

次に、上述のような構成の電子ビーム描画装置にて基材上に描画を行う場合の処理手順の詳細について、図8～図12を参照しつつ説明する。

(描画全体処理)

まず、描画処理の全体の概略的な処理の流れについて、図8を参照しつつ説明

する。

予め、基材の3基準点 $P0n = (x_n, y_n, z_n)$ 、 $n=1\sim3$ の各測定、並びに基材の各部の高さ $H(x, y)$ の測定を測定装置200により行う(S101)。

次に、電子ビーム描画装置1に測定された基材2のセットを行い、描画開始準備を行う(S102)。なお、このステップでは、前記測定装置200にて測定された測定結果を、電子ビーム描画装置1の測定情報入力部158を用いて入力を行う。入力された測定結果は、メモリ160等に記憶されることとなる。

なお、電子ビーム描画装置1と測定装置200とを一つのクリーンルームもしくはチャンバ内にてネットワーク接続し、測定装置200にて測定された測定結果が一義的に電子ビーム描画装置1内のメモリ160内に格納される「システム」を構成している場合には、上述の入力作業は不要となる。この「システム」は、上述のセット前に予め基材を測定するための測定装置(第2の測定装置)と、セット後に基材を測定するための測定装置(第1の測定装置)との都合2つの測定装置を含む電子ビーム描画装置として定義してもよい。さらには、これらの測定装置を一つにして双方の測定を兼用できる構成(例えば基材をチェックしてからステージ上に搬送する間の搬送路において、セット前の測定位置(第1位置)とセット後の測定位置(第2位置)との間を測定装置が移動するとともに、セット前測定用の測定ステージを前記第1位置に、ステージを第2位置に位置させる構成、あるいは、測定ステージとステージとを用意しておき、描画位置の測定位置に必要に応じていずれかのステージを位置させる構成等)としてもよい。

次に、基材2の3基準点 $P1n$ (Xn , Yn , Zn) の測定を、電子ビーム描画装置1の描画領域に設けられた測定装置80を用いて測定を行う (S103)。

すると、電子ビーム描画装置1では、上記S101にて予め測定された3基準点 $P0n$ (xn , yn , zn) の情報及び各部の高さ Ho (x , y) の情報 (第1の座標系) と、上記S103にて測定された3基準点 $P1n$ (Xn , Yn , Zn) の情報 (第2の座標系) と、に基づき、電子ビーム描画装置1内におけるビームの最適フォーカス位置 Hp (x , y) の算出を行う (S104)。なお、この算出を行うための演算アルゴリズムを具現化した処理プログラムは、例えばプログラムメモリに格納されて、制御部によって他の処理プログラムとともに必要に応じて処理されることとなる。この処理プログラムは、例えば制御部170及びプログラムメモリ162を含む最適フォーカス位置算出手段を構成できる。(なお、座標系の変換処理等の詳細については後述する。)

ところで、このS104は、あくまでも1フィールド (例えば $0.5 \times 0.5 \times 0.05$ mm等の単位空間) ($m=1$) についてである。因みに、この1フィールド内をビームが走査することで後述する描画が行われる。

次いで、XYZステージ30を、 m 分割された特定の1フィールドに移動し、焦点深度 f 内にある位置について描画を実施する処理を行う (S105)。

また、焦点深度内にある位置で、未だ描画されていない部分があれば、当該部分について描画を行うこととなる (S106)。

そして、当該1フィールドの描画が完了したか否かの判断処理を行う (S107)。この判断処理において、当該フィールドについて描画が完了したものと判断

された場合には、 $m \leftarrow m + 1$ とする処理を行い（S111）、次のフィールド（第2フィールド）について同様の処理を行うこととなる。

一方、S107の判断処理において、当該第1フィールドについて描画が完了していないものと判断された場合には、XYZステージ30及び鏡筒10のいずれか一方又は双方を相対移動させることで、Z軸を微小移動させ、電子ビームのフォーカス位置を微小移動させる（第1処理）。もしくは、電磁レンズの電流をレンズ制御部によって調整制御することでビームのフォーカス位置を微小移動させる（第2処理）。あるいは、第1処理及び第2処理の双方の制御によってフォーカス位置の調整制御を行う（S108）。

次に、フォーカス電流を変更した場合には、この電流値に対応する描画位置x、yの補正を行う補正処理を実行する（S109）。

そして、全ての描画が完了したか否かの判断処理を行い（S110）、全ての描画が完了していないものと判断された場合には、S108に戻り、全ての描画が完了したものと判断された場合には、処理を終了する。

（XYZステージを制御する場合）

次に、測定装置80を用いて、基材を載置したXYZステージをZ方向に制御する場合の処理手順について、図9を参照しつつ説明する。

なお、測定装置80を略してSHS（スロープハイトセンサー）と呼ぶことがある。

また、1フィールドの広さは、x、yの描画範囲及びz焦点深度で規定される範囲であるが、本例では、例えば $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ mm}$ 等とすることが

好ましい。

先ず、XYZステージ30上に予め用意されている基準ゲージAの先端部によって、SHSのビームが半ば散乱されている状態（出力Op）で、基準ゲージA（図6参照）の先端部に電子線の焦点を合わせる（S201）。

次に、XYZステージ30を移動させ、基材の平坦部に電子ビームの焦点を合わせ、平坦部を測定する高さ測定器（FHS）の出力をゼロアジャスト（調整）する（S202）。

そして、基材2上の基準マークを検出後、電子ビーム描画装置1内での基材2の位置を認識後、XYZステージ30を余裕をもって下降させた後、最初のフィールドへステージを移動させる（S203）。

次いで、XYZステージ30を、SHSの出力がOpになるかあるいはFHSの出力が0になるまで、上昇させる（S204）。

さらに、このフィールド（焦点深度内）の描画を行う（S205）。そして、XYZステージ30を上昇させ、次のフィールドにステージを移動させる（S206）。

次に、全ての描画が完了したか否かの判断処理を行う（S207）。この判断処理において、全ての描画が完了していないと判断されると、S205に戻る。一方、前記判断処理において、すべての描画が完了していないものと判断されると、処理が終了する。

（電子レンズを制御する場合）

次に、測定装置を用い、電子レンズに流す電流 I_r を制御する場合の処理手順

について、図10を参照しつつ説明する。

なお、電流 I_r とビームフォーカス位置の関係は、ビーム電流、電子線のエネルギーに影響され、かつ、それ自身ヒステリシスを持つことを考慮し、制御を行う必要がある（以下、ビーム電流、電子線のエネルギーを固定し、電流 I_r は一方向から設定することとする）。なお、この場合の処理においては、1フィールドを例えば 0.5×0.5 mm程度に設定することが好ましい。

まず、XYZステージ30上に予め用意されている基準ゲージAの先端部によって、SHSのビームが半ば散乱されている状態（出力Op）で I_r を調整し、当該基準ゲージAの先端部に電子線の焦点を合わせる（S301）。なお、この調整された電流を I_{r1} とする。なお、図7に示すように、SHSのセンサー出力がOpの位置は、丁度電子ビームのフォーカス位置に相当する。

次に、XYZステージ30を移動し、基材2の平坦部2bに電子ビームの焦点を合わせ、平坦部2bを測定する高さ測定器（FHS）の出力をゼロアジャスト（調整）する（S302）。

そして、基材2上の基準マークを検出後、電子ビーム描画装置1内での基材2の位置を認識後、XYZステージ30を余裕をもって下降させた後、描画すべき最初のフィールドで設計寸法上最も低い（高い）部分にSHSビームの測定位置（ x 、 y ）に合うように、XYZステージ30を移動させる（S303）。

次いで、SHSの出力がOpになるか、あるいはFHSの出力が0になるまでステージを上昇させる（S304）。

このフィールドで基材の設計寸法が焦点深度（ $\Delta Z \sim 0.05$ mm）範囲のみ

描画を行う (S 3 0 5)。

次に、電流 I_r を変更し、電子ビーム焦点を 0. 0 5mm 程度短く (長く) し、予め求めた $N(I_r)$ に基づき、ビーム偏向電圧を制御し、このフォーカス位置で焦点深度内にある範囲を描画する (S 3 0 6)。

そして、該当フィールドで全ての位置の描画が終了するまで、上記 S 3 0 5 ~ S 3 0 6 を繰り返す (S 3 0 7)。

さらに、電子レンズ 1 6 を調整する電流を I_{r1} に戻し、XYZ ステージ 3 0 を余裕を持ち、下降させた後、次に描画すべきフィールドの設計寸法上最も低い (高い) 部分に SHS ビームの測定位置 (x, y) に合うように XYZ ステージ 3 0 を移動させる (S 3 0 8)。

そして、すべての領域の描画が終了するまで、S 3 0 5 ~ S 3 0 8 までを繰り返すこととなる (S 3 0 9)。

なお、電子線のエネルギーとビーム電流を固定した時に、ビームの偏向電圧 (V_x, V_y) と焦点部でのビーム位置 (x, y) は、以下の関係で表される。
 $(x, y) = M(I_r) \times (V_x, V_y)$ (V_x, V_y) = $N(I_r) \times (x, y)$ ここで、N は、M の逆行列である。また、予め使用するエネルギー、ビーム電流にて、 $N(I_r)$ をテスト描画より求めておくものとする。さらに、 I_{r1} 付近で精度を高めておくことが望ましい。

(描画すべき位置を換算する処理)

次に、電子ビーム描画装置 1 にセットする前に、予め基材の各部を測定しておき、電子ビーム描画装置 1 内で基準点を再度測定し、該装置内で描画すべき位置

(x 、 y 、 z) を換算し、描画を実施する場合の処理手順について、図11を参照しつつ説明する。

図11には、基材2上に描画すべき位置を換算するための処理手順が開示されている。なお、本例では、フィールドの広さは、 xy の描画範囲で規定される範囲(ば 0.5×0.5 mm程度等)とすることが好ましい。

まず、描画位置に基材2をセットする前に予め基材の基準点 $P00$ ($x0$ 、 $y0$ 、 $z0$)、 $P01$ ($x1$ 、 $y1$ 、 $z1$)、 $P02$ ($x2$ 、 $y2$ 、 $z2$)、及び基材の被照射部 $Q0$ (x 、 y 、 z) を、適当なピッチ (例えば $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 等) で3次元測定機にて測定をしておく ($S401$)。

次いで、基材2を電子ビーム描画装置2へセットし、基材2の基準点を描画位置の電子線像が画面中央になる位置と、ハイトセンサーの出力が0になる位置 $P10$ ($X0$ 、 $Y0$ 、 $Z0$)、 $P11$ ($X1$ 、 $Y1$ 、 $Z1$)、 $P12$ ($X2$ 、 $Y2$ 、 $Z2$) を、電子ビーム描画装置1のXYZステージ30の値から測定する ($S402$)。さらに、 $P00 \sim P02$ と $P10 \sim P12$ により変換行列 M を求める ($S403$)。

描画すべき点 $Q1$ (X 、 Y 、 Z) を、対応する $Q0$ (x 、 y 、 z) から $Q1 = M \times Q0$ により算出する。

以降、 $Q1$ の値(群)によりXYZステージ30の制御を行う。ただし、該当する位置が $Q1$ 群に無い場合は、 X 、 Y 、 Z それぞれに近傍点 $qx1$ 、 $qx2$ 、 \dots から直接近似等により算出する ($S404$)。

最初に描画するフィールドの最も低い(高い)部分へXYZステージ30を移

動させる。このフィールドでQ1の値が焦点深度（例えば約0.05mm等）範囲のみ描画を行う（S405）。

XYZステージ30を、例えば約0.05mm等下降（上昇）させる該当フィールドで、未だ描画されておらず、焦点深度内の部分の描画を行う（S406）。

該当フィールドの描画が終了するまで、S405～S406を繰り返す。そして、次のフィールドの最も低い（高い）部分にステージを移動させる（S407）。

全ての描画が完了するまでS405～S407を繰り返す（S408）。

（行列Mの算出手順）

次に、上述のS403にて演算される行列Mの算出手順について、図12を参照しつつ説明する。

図12に示すように、基材2を電子ビーム描画装置1にセットする前では、測定結果に基づき、図示のように基準位置を算出して第1の座標系の座標軸を決定する（S501）。

次に、基材2を電子ビーム描画装置1にセットした後では、測定結果に基づき、図示のように基準位置を算出して第2の座標系の座標軸を決定する（S502）。

ここで、S501にて定義された各基準位置P00、P01、P02と、S502にて定義された各基準位置P10、P11、P12との関係は、第1の座標系を第2の座標系に変換する座標変換行列をMとすると、図示の式（1）～（3）のように表すことができる。

同様にして、S501における基材2の任意の位置Q0と、S502における基材のQ0に対応する位置Q1との関係は、図示の式（4）にて表すことができ

る。

このようにして座標変換行列Mの定義を行う(S503)。すなわち、このステップを、よりハードウェアに近いレベルでの処理についてみると、予め定義された座標変換行列Mの定義式(1)～(4)をメモリ上の所定領域から呼び出す処理を行う。

次に、座標変換行列Mを算出するための前段階として上記定義式(1)～(3)を一括して扱い、図示のように行列化を行う(S504)。

そして、座標変換行列Mを算出するための演算式が導き出される(S505)。
なお、本例においては、理解を容易にするために、座標変換行列Mを算出するための演算式を算出する手順を順を追って説明したが、S503～S505は一つのステップとし、前記演算式のみを予めメモリ上の所定領域に記憶しておいて、必要に応じて、S501、S502での測定算出結果に基づき演算を行う構成としてよい。これにより、座標変換行列Mを算出することができる。

このようにして座標変換行列Mが算出されると、上述のS404以降の処理が行われることとなる。すなわち、座標変換行列Mに基づき、S503の式(4)を用いて、電子ビーム描画装置2にセットした後の任意の位置を得ることができる。

以上のように本実施の形態によれば、球面あるいは非球面形状の光学機能面に回折構造を有する光学素子を形成したり、あるいは光学素子を射出成形するための成型型を制作するためには、より立体的な加工を行う必要があるが、本願発明者等は、検討の結果、エネルギー線例えば電子ビームによる直接描画・直接加工

技術を利用すれば、電子ビームは、例えばレーザービーム等に比べると、波長が短いことから、非常に精密な加工に適していることが判明した。

しかも、電子ビームは、ビーム照射方向（加工物の厚さ方向）について、加工精度の点で有利であり、基材と電子ビーム照射手段（例えば光源等）とを相対的に移動させても、十分に位置精度を確保することができる。このため、3次元形状を有する立体的な対象物、特に連続した曲面を有する基材を加工することが容易に可能になる。

従って、球面あるいは非球面形状の光学機能面に回折構造を有する光学素子を形成することができ、より立体的な加工が容易に実現できる。

なお、この場合、予め基材の形状を測定装置により把握しておいてフィードバック等の制御により焦点位置を容易に算出できるので、曲面を有する基材においても容易に精度良く描画を行うことができる。

〔第2の実施の形態〕

次に、本発明にかかる第2の実施の形態について、図13に基づいて説明する。なお、以下には、前記第1の実施の形態の実質的に同様の構成に関しては説明を省略し、異なる部分についてのみ述べる。

上述の第1の実施の形態では、電子ビームにより基材上に回折光子などの精密加工を施す工程を開示したが、本例では、上記工程を含むプロセス全体の工程、特に、光学素子等の光レンズを成形によって製造するための金型等を製造する工程を説明する。

先ず、機械加工により金型（無電解ニッケル等）の非球面加工を行う（加工工

程)。次に、図13 (A) に示すように、金型により前記半球面を有する基材200の樹脂成形を行う(樹脂成形工程)。さらに、基材200を洗浄した後に乾燥を行う。

次いで、樹脂の基材200の表面上の処理を行う(樹脂表面処理工程)。この工程では、例えばAu蒸着などの工程を行うこととなる。具体的には、図13 (B) に示すように、基材200の位置決めを行い、レジスト1を滴下しつつスピナーを回転させて、スピコートを行う。また、プリバークなども行う。

スピコーティングの後には、当該レジスト膜の膜厚測定を行い、レジスト膜の評価を行う(レジスト膜評価工程)。具体的には、図13 (C) に示すように、基材200の位置決めを行い、当該基材200をX、Y、Z軸にて各々制御しつつ露光を行う。

次に、基材200上のレジスト膜1の表面平滑化処理を行う(表面平滑化工程)。さらに、図13 (D) に示すように、基材200の位置決めなどを行いつつ、現像処理を行う(現像工程)。さらにまた、表面硬化処理を行う。

次いで、SEM観察や膜厚測定器などにより、レジスト形状を評価する工程を行う(レジスト形状評価工程)。

さらに、その後、ドライエッチングなどによりエッチング処理を行う。そして、基材200のレジスト表面への金属202の蒸着を行う(金属蒸着工程)。

次に、表面処理がなされた基材200に対する金型204を作成するために、図13 (E) に示すように、金型電鍍前処理を行った後、電鍍処理などを行い、図13 (F) に示すように、基材200と金型204とを剥離する処理を行う。

表面処理がなされた基材と剥離した金型204に対して、表面処理を行う（金型表面処理工程）。そして、金型204の評価を行う。評価後、当該金型204を用いて成形品を作成する。その後、当該成形品の評価を行う。

以上のように、本実施の形態によれば、上述の光学素子を射出成形するための成形型をも容易に製造できる。

なお、本発明にかかる装置と方法は、そのいくつかの特定の実施の形態に従って説明してきたが、当業者は本発明の主旨および範囲から逸脱することなく本発明の本文に記述した実施の形態に対して種々の変形が可能である。例えば、上述の実施の形態では、光レンズ等の光学素子の基材を、直接描画する場合について説明したが、樹脂等の光レンズを射出成形により形成するための成形型（金型）を加工する場合に、上述の原理や処理手順、処理手法を用いてもよい。

また、基材上の複数の基準点を測定し、この測定結果に基づき基準座標系を算出し、この座標系をもとに基材の厚み分布を測定するステップを、電子ビーム照射中に行う構成としてもよい。さらに、厚み分布に基づき、最適焦点位置を算出する算出ステップ並びに描画位置に当該焦点位置を合わせるように調整するステップを、電子ビーム照射中に行う構成としてもよい。この場合、ある一の描画位置にて描画を行っている電子ビーム照射中に、他の描画位置での前記焦点位置の算出等の演算処理を行いつつ、次に電子ビーム照射に備える構成とすることが好ましい。また、電子ビーム照射中に算出ステップにて算出できるものとしては、基材の厚み分布の他、厚み分布の補正等の処理も含まれる。

さらに、上述の各実施の形態同士、及びそれらのいずれかと変形例との組み合

わせによる例をも含むことは言うまでもない。

以上説明したように本発明によれば、電子ビームは、ビーム照射方向（加工物の厚さ方向）について、加工精度の点で有利であり、基材と電子ビーム照射手段とを相対的に移動させても、十分に位置精度を確保することができる。このため、3次元形状を有する立体的な対象物、特に連続した曲面を有する基材を加工することが容易に可能になる。

従って、球面あるいは非球面形状の光学機能面に回折構造を有する光学素子を形成することができ、より立体的な加工が容易に実現できる。

次に表面反射の低減を図るための好適な実施の形態の一例について、図面を参照して具体的に説明する。

[第3の実施の形態]

(基材について)

先ず、電子ビームにより描画される被描画基材について、図15～図16を参照しつつ説明する。図15には、基材上に描画される描画パターン並びにその細部の描画形状が開示されている。

同図に示すように、本実施形態の被描画基材（以下、基材という）2上に描画される描画パターンの一例として円描画が開示されており、基材2の描画部分の一部であるA部分を拡大してみると、基材2は、複数のブレース3からなる回折格子構造が形成されている。

ブレース3は、傾斜部3b及び側壁部3aを形成し、当該側壁部3bは、周方向に沿って平面状に複数形成されている。

より詳細には、図16に示すように、基材2は、少なくとも一面に形成された曲面部2aを有し、回折格子を傾けて各ピッチL1毎に形成し、この回折格子の少なくとも1ピッチL1に、当該ピッチの区切り目位置にて前記曲面部2aより立ち上がる側壁部3aと、隣接する各側壁部3a、3a間に形成された傾斜部3bと、側壁部3aと傾斜部3bとの境界領域に形成された溝部3cとが形成されている。なお、この回折格子構造は、後述するように、曲面部2a上に塗布された塗布剤（レジスト）を描画することにより形成されることが好ましい。

図15に説明を戻すと、傾斜部3bには、該傾斜部3bより入射する光の反射を防止する反射防止構造3baが形成されている。この反射防止構造3baは、構造的に複屈折される複数の凹凸からなる形状とすることが好ましく、本実施の形態においては、例えば、複数の孔部3bbにより形成されている。この孔部3bbは、深さ方向に向かうに従い先細る形状であり、孔部3bbの開口径は、サブミクロン単位に形成され、傾斜部3bの面積に対する孔部3bbの面積比は、略30%程度に形成されている。

なお、本実施の形態では、反射防止構造として、複数の孔部を設ける例について説明するが、このような形状に限定されるものではなく、例えば複数の凸部を形成する場合は、前記孔部と凸部とを組み合わせた例であってもよい。また、円描画を、複数の直線部によって近似して描画する構成としてもよい。

また、基材2としては、光学素子例えば、ピックアップレンズ等にて構成することが好ましい。

ここで、サブ波長構造をもつ周期格子は光波の透過、反射特性に強く影響する

が、微小凹凸により反射防止効果を引き出すことができる。すなわち、光の反射は、屈折率の急激な変化により生じるが、平均屈折率は、前記テーパにより基材 2 の厚さ方向に対して徐々に変わっているため、連続的に屈折率は変化し、光が殆ど反射されない構成となる。

これにより、高密度な回折格子構造はそのままでは表面反射が大きくなるが、サブ波長オーダーの光の集団的な作用により、前記反射防止構造 3 b a として、連続的な屈折率分布をもたせる事により、反射を防止させることができる。

このように、3次元的な描画で回折格子を描画する際にあわせ、サブ波長オーダーのクラスター構造を描画し、前記基材 2 に表面反射を防止する構造を形成することにより、金型形状として反射防止構造を成形させる際に、コストを大幅に低減させることを可能にする。

また、高密度化に伴い、曲面部 2 a の曲率が大きくなったとしても、周辺部での表面反射を低減し、偏向の向きによる透過率の違いも低減できる。これにより、検出信号の読み取り処理においてピックアップ機能の低下が生じない。

さらに、DVD、CD 互換、収差補正のために、回折格子を付与したものに関しても、格子密度による入射角度の増大に起因するピックアップ機能の低下を取り除くことができる。このような基材を形成するための前提となる電子ビーム描画装置の具体的構成と描画のための制御については前述した通りである。

(ドーズ分布)

図 17 には、本実施の形態の特徴的構成の電子ビーム描画装置の制御系の機能ブロック図が開示されている。

同図に示すように、電子ビーム描画装置1のメモリ160には、形状記憶テーブル161を有し、この形状記憶テーブル161には、例えば基材2の曲面部2aに回折格子を傾けて各ピッチ毎に形成する際の走査位置に対するドーズ量分布を予め定義したドーズ分布の特性などに関するドーズ分布情報161a、各ピッチ毎に表面反射防止用の凹凸を形成する際に、当該凹凸部分のドーズ量に関するドーズ分布情報161b、ドーズ分布を補正演算したドーズ分布補正演算情報161c、その他の情報161dなどが格納されている。なお、ドーズ分布補正演算情報161cとは、ドーズ量などを算出するためのもととなるテーブルないしは演算情報である。

また、プログラムメモリ162には、これらの処理を行う処理プログラム163a（より詳細には、例えば後述する図24～図26のS101～S118までの一連の処理など）、前記ドーズ分布情報161a、161bやドーズ分布補正演算情報161cなどの情報をもとに、曲面部2a上の所定の傾斜角度におけるドーズ分布特性など演算により算出するためのドーズ分布演算プログラム163b、その他の処理プログラム163cなどを有している。なお、本実施の形態のメモリ160にて本発明の「格納手段」を構成でき、また、本実施の形態のプログラムメモリ162と制御部170とで本発明の「制御手段」を構成できる。

この際、制御手段は、ドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出しつつ前記基材並びに凹凸部分の描画を行うように制御する。あるいは、曲面部に回折格子の少なくとも1ピッチ部分を傾けて形成し、かつ、当該1ピッチ部分に対して表面反射防止用の凹凸を形成する際に、当該凹凸部分のドーズ量を加味した

走査位置に対するドーズ量分布を予め定義したドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出しつつ前記基材の曲面部並びに凹凸部分の描画を行うように制御する。

また、制御手段は、前記回折格子に対する描画処理と、前記凹凸部分の描画処理とをほぼ同時に行うように制御し、傾斜部の面積に対する孔部の面積比を所定の比率にて描画するように制御する。

さらに、制御手段は、測定手段にて測定された描画位置に基づき、電子レンズの電流値を調整して前記電子ビームの焦点位置を前記描画位置に応じて可変制御するとともに、前記焦点位置における焦点深度内について、ドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出しつつ前記基材並びに凹凸部分の描画を行うように制御する。

また、制御手段は、測定手段にて測定された描画位置に基づき、駆動手段により載置台を昇降させて、電子ビーム照射手段にて照射された電子ビームの焦点位置を前記描画位置に応じて可変制御するとともに、前記焦点位置における焦点深度内について、前記格納手段の前記ドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出しつつ前記基材並びに凹凸部分の描画を行うように制御する。

なおまた、この実施形態においては、ドーズ分布を曲面部2 a上の傾斜角度に応じて各々算出する構成としたが、予めある程度の数のものを算出しておいてテーブル化し、当該テーブルを参照することによってドーズ量Dを抽出する構成であってもちろんよい。

このような構成を有する制御系において、ドーズ分布情報は予めメモリ160

の形状記憶テーブル161などに格納され、処理プログラム163aに基づいて、描画時に当該ドーズ分布情報を抽出し、そのドーズ分布情報によって種々の描画が行われることとなる。

あるいは、制御部170は、処理プログラム163aにより所定の描画アルゴリズムを実行しつつ、ドーズ量を算出するルーチンに至ると、ドーズ分布演算プログラム163bを実行し、傾斜角度に応じたドーズ分布を算出するためのある程度の基本的情報、すなわち、ドーズ分布情報161a、161b、ドーズ分布補正演算情報161cなど格納したテーブルを参照しつつ、対応するドーズ分布特性情報を算出したのち、この算出したドーズ分布特性情報を前記メモリ160の所定の一時記憶領域に格納し、そのドーズ分布特性情報を参照しつつドーズ量を算出して描画を行うといった手法であってもよい。

次に、ドーズ分布特性の具体的な態様について、図27を参照して説明する。図27(A)には、描画パターンの形状が、図27(B)には、当該描画パターンに対応するドーズ分布の特性図が開示されている。同図に示すように、ドーズ分布の特性図におけるドーズ分布DSは、傾斜部及び側壁部に与えるドーズ分布に加え、孔部を形成するために重ねて与えるドーズを構成している。このようにすることで、傾斜部及び側壁部を形成する際の描画と、反射防止構造の描画とをほぼ同時に(1回の走査により)行うことが可能となる。

(制御系の具体的構成)

次に、前記円描画を正多角形で近似して直線的に走査する場合の各種処理を行うための制御系の具体的構成について、図18を参照しつつ説明する。図18

には、本実施の形態の電子ビーム描画装置の制御系の詳細な構成が開示されている。

電子ビーム描画装置の制御系300は、図18に示すように、例えば円描画時に正多角形（不定多角形を含む）に近似するのに必要な（円の半径に応じた）種々のデータ（例えば、ある一つの半径 k mmの円について、その多角形による分割数 n 、各辺の位置各点位置の座標情報並びにクロック数の倍数值、さらには Z 方向の位置などの各円に応じた情報等）、さらには円描画に限らず種々の曲線を描画する際に直線近似するのに必要な種々のデータ、各種描画パターン（矩形、三角形、多角形、縦線、横線、斜線、円板、円周、三角周、円弧、扇形、楕円等）に関するデータを記憶する描画パターン記憶手段である描画パターンデータメモリ301と、を含んで構成される。

また、制御系300は、前記描画パターンデータメモリ301の描画パターンデータに基づいて、描画条件の演算を行う描画条件演算手段310と、前記描画条件演算手段310から $(2n+1)$ ライン（ $(n=0, 1, 2, \dots)$ である場合は $(2n+1)$ であるが、 $(n=1, 2, \dots)$ である場合は $(2n-1)$ としてもよい）乃ち奇数ラインの描画条件を演算する $(2n+1)$ ライン描画条件演算手段311と、 $(2n+1)$ ライン描画条件演算手段311に基づいて1ラインの時定数を設定する時定数設定回路312と、 $(2n+1)$ ライン描画条件演算手段311に基づいて1ラインの始点並びに終点の電圧を設定する始点/終点電圧設定回路313と、 $(2n+1)$ ライン描画条件演算手段311に基づいてカウンタ数を設定するカウンタ数設定回路314と、 $(2n+1)$ ライン描画条件演算手段

311に基づいてイネーブル信号を生成するイネーブル信号生成回路315と、奇数ラインの偏向信号を出力するための偏向信号出力回路320と、を含んで構成されている。

さらに、制御系300は、前記描画条件演算手段310から(2n)ライン乃ち偶数ラインの描画条件を演算する(2n)ライン描画条件演算手段331と、(2n)ライン描画条件演算手段331に基づいて1ラインの時定数を設定する時定数設定回路332と、(2n)ライン描画条件演算手段331に基づいて1ラインの始点並びに終点の電圧を設定する始点/終点電圧設定回路333と、(2n)ライン描画条件演算手段331に基づいてカウンタ数を設定するカウンタ数設定回路334と、(2n)ライン描画条件演算手段331に基づいてイネーブル信号を生成するイネーブル信号生成回路335と、偶数ラインの偏向信号を出力するための偏向信号出力回路340と、(2n)ライン描画条件演算手段310に基づいて、次の等高線に移動するときなどにプランキングを行うプランキングアンプ350と、描画条件演算手段310での描画条件と、奇数ラインの偏向信号出力回路320並びに偶数ラインの偏向信号出力回路340からの情報とに基づいて、奇数ラインの処理と偶数ラインの処理とを切り換える切換回路360と、を含んで構成されている。

奇数ラインの偏向信号出力回路320は、走査クロックCL1と、カウンタ数設定回路314からの奇数ラインカウント信号CL6と、イネーブル信号発生回路315のイネーブル信号とに基づいてカウント処理を行う計数手段であるカウンタ回路321と、カウンタ回路321からのカウントタイミングと、始点/終

点電圧設定回路313での奇数ライン描画条件信号CL3とに基づいて、DA変換を行うDA変換回路322と、このDA変換回路322にて変換されたアナログ信号を平滑化する処理（偏向信号の高周波成分を除去する等の処理）を行う平滑化回路323と、を含んで構成される。

偶数ラインの偏向信号出力回路340は、走査クロックCL1と、カウンタ数設定回路334からの偶数ラインカウント信号CL7と、イネーブル信号発生回路335のイネーブル信号とに基づいてカウント処理を行う計数手段であるカウンタ回路341と、カウンタ回路341からのカウントタイミングと、始点/終点電圧設定回路333での偶数ライン描画条件信号CL5とに基づいて、DA変換を行うDA変換回路342と、このDA変換回路342にて変換されたアナログ信号を平滑化する処理を行う平滑化回路343と、を含んで構成される。

なお、これらの制御系300を構成する各部は、いずれも図1に示すCPU等の制御部170（制御手段）にて制御可能な構成としている。また、これら制御系300は、X偏向用の制御系とY偏向用の制御系を各々形成する構成としてもよい。

またなお、本実施形態の描画パターンデータメモリ310と描画条件演算手段310などを含む制御系300で、「演算手段」を構成できる。この「演算手段」は、走査される走査ライン上に、DA変換器の最小時間分解能の整数倍の時間に対応する距離に相当する少なくとも2点の各位置を演算する機能を有する。この場合、制御部170の「制御手段」は、前記演算手段にて演算された各位置間を前記電子ビームによりほぼ直線的に走査するように制御することとなる。また、

同様に、本発明の他の態様の「演算手段」では、略円状に走査される走査ライン上に、DA変換器の最小時間分解能の整数倍の時間に対応する距離を一辺とする多角形の各頂点位置を算出する機能を有する。また、制御手段は、演算手段にて演算された各位置間を前記電子ビームによりほぼ直線的に走査するのは同様である。

上記のような構成を有する制御系300は、概略次のように作用する。すなわち、描画条件演算手段310が描画パターンデータメモリ301から直線近似による走査(描画)に必要な情報を取得すると、所定の描画条件の演算処理を行ない、例えば一つの円に対して正多角形の各辺に近似された場合の各辺のうち最初の辺、奇数番目のラインに関する情報は、 $(2n+1)$ ライン描画条件演算手段311へ、次の辺、偶数番目のラインに関する情報は、 $(2n)$ ライン描画条件演算手段331へ各々伝達される。

これにより、例えば、 $(2n+1)$ ライン描画条件演算手段311は、奇数ラインに関する描画条件を生成し、走査クロックCL1と生成された奇数ライン描画条件生成信号CL2とに基づいて、偏向信号出力回路320から奇数ライン偏向信号CL9を出力する。

一方、例えば、 $(2n)$ ライン描画条件演算手段331は、偶数ラインに関する描画条件を生成し、走査クロックCL1と生成された偶数ライン描画条件生成信号CL4とに基づいて、偏向信号出力回路340から偶数ライン偏向信号CL10を出力する。

これら奇数ライン偏向信号CL9と偶数ライン偏向信号CL10は、描画条件

演算手段310のもとに切換回路360によって、その出力が交互に切り換わる。したがって、ある一の円について、正多角形に近似され、各辺が算出されると、ある一つの辺、奇数番目の辺が描画されると、次の辺、偶数番目の辺が描画され、さらに次ぎの辺、奇数番目の辺が描画される、という具合に交互に各辺が直線的に描画（走査）されることとなる。

そして、ある一の円について描画が終了すると、描画条件演算手段310は、その旨をブランキングアンプ350に伝達し、他の次の円を描画するように促す処理を行なう。このようにして、各円について多角形で近似した描画を行うこととなる。

（本実施の形態の特徴）

次に、反射防止構造を構成することにより、表面反射率を低減できる根拠、乃ち、曲面部上の各位置と表面反射率との関係について説明する。

図19～図22には、基材の曲面部上の中心位置から周辺部に向かうに従い表面反射率が変化する様子が、通常のレンズ（図19）、回折格子（ピッチ 20μ ）付きレンズ（図20）、回折格子（ピッチ 3μ ）付きレンズ（図21）、反射防止構造を備えた回折格子（ピッチ 3μ ）付きレンズ（図22）の場合の各々について開示されている。

なお、これらの各特性を算出するに際し、図23に示される各種の条件設定が行われる。乃ち、屈曲率を1.5とし、非クラスター部の面積比（孔部に対する傾斜部の割合）をSとし、回折格子面の角度を β とし、角度 ψ （基材の曲面部上のラジアル位置）とした場合に、 Ref_p 、 Ref_s 、 Ref_A は、各々図示に

示す各式(13)～式(15)により算出される(ステップ、以下「S」11)。
ただし、屈折角 χ は式(12)により、 ψ は式(11)により各々算出されるものとする。

次に、このような前提の下、通常のレンズの場合には、 $S=1$ 、 $\beta=0$ とし、 ψ を $0 \sim 45$ とした場合の $Ref p$ 、 $Ref s$ 、 $Ref A$ を各々算出して(S12)、その結果が図19に示す図となる。

同様に、回折格子(ピッチ 20μ)付きレンズの場合には、 $S=1$ 、 $\beta=3$ とし、 ψ を $0 \sim 45$ とした場合の $Ref p$ 、 $Ref s$ 、 $Ref A$ を各々算出して(S13)、その結果が図20に示す図となる。

また、回折格子(ピッチ 3μ)付きレンズの場合には、 $S=1$ 、 $\beta=20$ とし、 ψ を $0 \sim 45$ とした場合の $Ref p$ 、 $Ref s$ 、 $Ref A$ を各々算出して(S14)、その結果が図21に示す図となる。

さらに、反射防止構造を有する回折格子(ピッチ 3μ)付きレンズの場合には、 $S=0.7$ 、 $\beta=20$ とし、 ψ を $0 \sim 45$ とした場合の $Ref p$ 、 $Ref s$ 、 $Ref A$ を各々算出して(S15)、その結果が図22に示す図となる。

これらの図に示されるように、通常のレンズや、回折格子面があまり傾斜しておらず1ピッチの幅が大きい場合には、表面反射率の変化は微差であるが、図153に示すように、回折格子面が傾斜し(図16を想定)、1ピッチの幅が小さい場合には、表面反射率は、周辺部に向かうに従い急激に上昇することとなる。また、偏向の向きにより透過率の違いも顕著となる。

一方、本実施の形態のように反射防止構造を設けた場合には、図22に示すよ

うに、回折格子面が傾斜し1ピッチの幅が小さい場合であっても、表面反射率は、周辺部に向かうに従い急激に上昇することはない。ただし、孔部の面積比を30%前後であるものとしている。

これにより、高密度な回折格子構造はそのままでは表面反射が大きくなるが、サブ波長オーダーの光の集団的な作用により、前記反射防止構造3baとして、連続的な屈折率分布をもたせる事により、回折格子構造においても表面反射を防止させることができる。

この反射防止構造としては、上述したように種々のものが考えられるが、特に深さ方向に向かうに従い先細るテーパを有する孔部を複数形成し、面積比を傾斜部の30%程度とすることが、図22に示すように表面反射率の低減に顕著となる。

(処理手順について)

次に、上述のような構成を有する基材を、3次元的に描画可能な電子ビーム描画装置を用いて作成する際の処理手順について、図24～図26を参照しつつ説明する。

まず、母型材(基材)をSPDT(Single Point Diamond Turning:超精密加工機によるダイヤモンド切削)により非球面の加工を行う際に、同心円マークの同時加工を実施する(ステップ、以下「S」101)。この際、光学顕微鏡で、例えば $\pm 1 \mu$ 以内の検出精度の形状が形成されることが好ましい。

次に、FIBにて例えば3箇所のアライメントマークを付ける(S102)。こ

ここに、十字形状のアライメントマークは、電子ビーム描画装置内で $\pm 20 \text{ nm}$ 以内の検出精度を有することが好ましい。

さらに、前記アライメントマークの、同心円マークとの相対位置を光学顕微鏡にて観察し、非球面構造の中心に対する位置を測定し、データベース(DB) (ないしはメモリ (以下、同)) へ記録しておく(S103)。なお、この測定精度は、 $\pm 1 \mu$ 以内であることが好ましく、中心基準とした3つのアライメントマークの位置、 $x1y1$ 、 $x2y2$ 、 $x3y3$ をデータベース(DB)へ登録する。

また、レジスト塗布/ベーク後の母型(基材)の各部の高さとアライメントマークの位置(Xn 、 Yn 、 Zn)を測定しておく(S104)。ここで、中心基準で補正した母型(基材): 位置テーブルTb11(OX、OY、OZ)、アライメントマーク: OA(Xn 、 Yn 、 Zn) (いずれも 3×3 行列)を、データベース(DB)へ登録する。

次に、斜面測定用の測定装置(高さ検出器)の測定ビームの位置に電子線のビームをフォーカスしておく等その他各種準備処理を行う(S105)。

この際、ステージ上に取り付けたEB(電子ビーム)フォーカス用針状の較正器に高さ検出用の測定ビームを投射すると共に、SEMモードにて電子ビーム描画装置で観察し、フォーカスを合わせる。

次いで、母型(基材)を電子ビーム描画装置内へセットし、アライメントマークを読み取る(XXn 、 YYn 、 ZZn) (S106)。この際に、電子ビーム描画装置内においては、S106に示されるような各値をデータベース(DB)に登録することとなる。

さらに、母型（基材）の形状から、最適なフィールド位置を決定する（S107）。ここで、フィールドは同心円の扇型に配分するフィールド同士は、若干重なりを持たせる。そして、中央で第一輪帯内はフィールド配分しない。

そして、各フィールドについて、隣のフィールドのつなぎアドレスの計算を行う（S108）。この計算は平面として計算を行う。なお、多角形の1つの線分は、同一フィールド内に納める。ここに、「多角形」とは、上述の制御系の項目で説明したように、円描画を所定の n 角形で近似した場合の少なくとも1本の描画ラインをいう。

次に、対象とするフィールドについて、焦点深度領域の区分として、同一ラインは、同じ区分に入るようにする。また、フィールドの中央は、焦点深度区分の高さ中心となる（S109）。ここに、高さ $50\text{ }\mu$ 以内は、同一焦点深度範囲とする。

次いで、対象とするフィールドについて、同一焦点深度領域内での (x, y) アドレスの変換マトリクス (Xc, Yc) を算出する（S110）。この Xc, Yc は各々図示の式（16）の通りとなる。

さらに、対象とするフィールドについて、となりとのつなぎアドレスを換算する（S111）。ここで、S108にて算出したつなぎ位置をS110の式（16）を用いて換算する。

そして、対象とするフィールドについて、中心にXYZステージを移動し、高さをEB（電子ビーム）のフォーカス位置に設定する（S112）。つまり、XYZステージにてフィールド中心にセットする。また、測定装置（高さ検出器）の

また、対象とするフィールドについて、一番外側（m番目）の同一焦点深度内領域の高さ中心に電子ビーム（EB）のフォーカス位置に合わせる（S113）。具体的には、テーブルBを参照し、XYZステージを所定量フィールド中心の高さ位置との差分を移動する。

次いで、S114で与えられたドーズによって決定される、ドーズ分布D S (x, y)で、面積比S%の領域にドーズを重ねて与える(S115)。この際、近接効果を含め、この追加ドーズの広がり、プレーズの斜面(傾斜部)に収まるようにする。また、斜面(傾斜部)のうち浅い部分(頂部)については、ドーズ分布D Sは、ブロード、深い部分(溝部)はシャープにし、例えば、図27(B)に示すようなドーズ分布とするのが好ましい。

次に、XYZステージの移動、次のフィールドの描画を行う準備を行う（S1

次に、XYZステージの移動、次のフィールドの描画を行う準備を行う（S1

17)。この際、フィールド番号、時間、温度などデータベース（DB）への登録を行う。

このようにして、前記S119からS117を規定回数実施する（S118）ことで、電子ビームにより曲面部に回折格子構造を有する基材への反射防止構造（クラスター）の形成を行うことができる。

以上のように本実施の形態によれば、高密度な回折格子構造はそのままでは表面反射が大きくなるが、サブ波長オーダーの光の集団的な作用により、曲面部に回折格子構造を有する基材上に前記反射防止構造として、連続的な屈折率分布をもたせる孔部を形成することにより、反射を防止させることができる。

また、高密度化に伴い、曲面部の曲率が大きくなったとしても、周辺部での表面反射を低減し、偏向の向きによる透過率の違いも低減できる。これにより、検出信号の読み取り処理においてピックアップ機能の低下が生じない。

さらに、DVD、CD互換、収差補正のために、回折格子を付与したものに関しても、格子密度による入射角度の増大に起因するピックアップ機能の低下を取り除くことができる。

なお、前記反射防止構造としては、上述したように種々のものが考えられるが、特に深さ方向に向かうに従い先細るテーパを有する孔部を複数形成し、面積比を傾斜部の30%程度とすることが、表面反射率の低減に顕著となる。

〔第4の実施の形態〕

次に、本発明にかかる第4の実施の形態について、図28～図29に基づいて説明する。なお、以下には、前記第5の実施の形態の実質的に同様の構成に関し

ては説明を省略し、異なる部分についてのみ述べる。

上述の第5の実施の形態では、電子ビームにより基材上に反射防止構造を含む回折格子などの精密加工を施す工程を開示したが、本実施の形態では、上記工程を含むプロセス全体の工程、特に、光学素子等の光レンズを射出成形によって製造するための金型等を製造する工程を説明する。

先ず、機械加工により金型（無電解ニッケル等）の非球面加工を行う（加工工程）。次に、図28（A）に示すように、金型により前記半球面を有する基材200の樹脂成形を行う（樹脂成形工程）。さらに、基材200を洗浄した後に乾燥を行う。

次いで、樹脂の基材200の表面上の処理を行う（樹脂表面処理工程）。この工程では、例えばAu蒸着などの工程を行うこととなる。具体的には、図28（B）に示すように、基材200の位置決めを行い、レジストLを滴下しつつスピナーを回転させて、スピコートを行う。また、プリバークなども行う。

スピンコーティングの後には、当該レジスト膜の膜厚測定を行い、レジスト膜の評価を行う（レジスト膜評価工程）。そして、図28（C）に示すように、基材200の位置決めを行い、当該基材200をX、Y、Z軸にて各々制御しつつ前記第5の実施の形態のように3次元の電子ビームにより反射防止構造202bbを含む回折格子構造を有する曲面部の描画を行う（描画工程）。

次に、基材200上のレジスト膜Lの表面平滑化処理を行う（表面平滑化工程）。さらに、図28（D）に示すように、基材200の位置決めなどを行いつつ、現像処理を行う（現像工程）。さらにまた、表面硬化処理を行う。

次いで、SEM観察や膜厚測定器などにより、レジスト形状を評価する工程を行う（レジスト形状評価工程）。

さらに、その後、基材200のレジスト表面への金属202の蒸着を行う（金属蒸着工程）。そして、ドライエッチングなどによりエッチング処理を行う。

この際、回折格子構造の金属202のD部を拡大すると、傾斜部202b及び側壁部202aからなる複数のブレースにて回折格子構造が形成されており、さらに傾斜部202bには、深さ方向に向かうに従い先細るテーパを有した複数の孔部202bbからなる反射防止構造が形成される。この複数の孔部202bbは、傾斜部202bの面積の約30%（さらに好ましくは、ほぼ20%～40%の範囲）を形成している。このブレースは、周辺部に向かうに従い回折格子面の角度が急となるため、孔部のテーパの角度も回折格子面の角度変化に応じて変化する角度にて形成することが好ましい。

次に、表面処理がなされた基材200に対する金型204を作成するために、図29（A）に示すように、金型電鍍前処理を行った後、電鍍処理などを行い、図29（B）に示すように、基材200と金型204とを剥離する処理を行う。

表面処理がなされた基材と剥離した金型204に対して、表面処理を行う（金型表面処理工程）。そして、金型204の評価を行う。

この際、金型204には、B部を拡大して示すと、前記基材200のブレースに対応するように、凹部205が形成され、これら各凹部205には、前記基材200の傾斜部202bの孔部形状に対応するように、複数の凸部206が形成されることとなる。

このようにして、評価後、当該金型204を用いて、図29に示すように、射出成形により成形品を作成する。その後、当該成形品の評価を行う。

この際、図29(C)に示すように、射出成形品210には、前記第5の実施の形態の基材同様の構成が完成され、曲面部に複数のブレードからなる回折格子構造211が形成される。そして、C部を拡大して示すと、回折格子の1つのピッチが側壁部212b及び傾斜部212aからなるブレードを構成し、この傾斜部212aには、サブミクロン単位の径を有する複数の孔部213からなる反射防止構造が構成される。

以上のように、本実施の形態によれば、前記第5の実施の形態の基材として光学素子（例えばレンズ）を形成する場合に、3次元描画装置を用い回折格子を描画する際にあわせ、サブ波長オーダーのクラスター構造を描画し、金型形状として反射防止構造を成形させる様にし、当該光学素子を金型を用いて射出成形により製造できるため、製造にかかるコストダウンを図ることができる。また、金型として反射防止機能を持った構造を附加することにより、レンズを射出成形する際に、同時に機能附加でき、プロセスの追加の必要がない。このため、金型自体のコストアップ、ショット可能数（100万回程度）が増大するものの、従来のようにレンズ1つ1つに蒸着プロセスを実施する場合に比べると大幅なコストダウン、工数の低減を図ることができる。

さらに、プラスチックレンズの射出成型の過程で、反射防止用の微細構造を同時に作り込むことができるので、誘電体の蒸着工程が不要になり、光学部品の低コスト化につながる。

特に、回折格子構造を持たない、射出成形で作成されるレンズにも適用でき、蒸着などのステップを除くことにより、大幅なコスト低減を行うことが可能である。

〔第5の実施の形態〕

次に、本発明にかかる第5の実施の形態について、図30に基づいて説明する。図30は、本発明に係る第5の実施の形態を示す機能ブロック図である。

本実施の形態においては、上述の電子ビーム描画装置にて描画された被描画基材（基材）（ないしは射出成形により樹脂成形された成形品である光学素子）を用いた電子機器の一例である光ピックアップ装置の一例を開示している。

図30において、光ピックアップ装置400は、半導体レーザー401、コリメートレンズ402、分離プリズム403、対物レンズ404、DVD、CD等の光磁気ディスク405（光磁気記録媒体）、1/2波長板406、偏光分離素子407、集光レンズ408、シリンダリカルレンズ409、分割光検出器410を有する。

このうち、本実施の形態においては、上述の各実施の形態の反射防止構造を含む光学素子を、（回折格子構造の有無、曲面部の有無は問わない）例えば、コリメートレンズ402、対物レンズ404、集光レンズ408、シリンダリカルレンズ409などのいずれか又は全てに適用することが好ましい。

上記のような構成を有する光ピックアップ装置400において、半導体レーザー1からのレーザー光は、コリメートレンズ2で平行光となり、分離プリズム3で対物レンズ4側に反射され、対物レンズ4によって回折限界まで集光されて光

磁気ディスク5（光磁気記録媒体）に照射される。

光磁気ディスク5からのレーザー反射光は、対物レンズ4に入光して再び平行光となり、分離プリズム3を透過し、更に、 $1/2$ 波長板6を透過し偏光方位を45度回転した後、偏光分離素子7に入射し、この偏光分離素子7で、光路が近接したP、S両偏光からなる2つの光束に分離される。前記P、S両偏光の光束はそれぞれ集光レンズ8、シリンドリカルレンズ9によって集光されて、分割光検出器10の分離受光領域（受光素子）にそれぞれのスポットを形成する。

以上のように本実施の形態においては、レンズ周辺部での表面反射の低減に加えて、偏向の向きによる透過率の違も低減でき、検出信号の読み取り処理においてピックアップ機能の低下が生じ得ない。なお、DVD、CD互換、収差補正のために、回折格子を付与したものは、格子密度があり、さらに入射角度の増え方が大きくなり表面反射に基づくピックアップ機能低下の影響が大きくなることが考えられるが、このような場合であっても、ピックアップ機能が低下する事態を回避することができる。

なお、本発明にかかる装置と方法は、そのいくつかの特定の実施の形態に従って説明してきたが、当業者は本発明の主旨および範囲から逸脱することなく本発明の本文に記述した実施の形態に対して種々の変形が可能である。

また、傾斜部上に形成される複数の孔部の面積比をほぼ30%程度に形成する場合について例示したが、これに限定されるものではなく、20%、40%、50%、60%、・・・等であってももちろんよい。また、各ピッチの傾斜部に応じて異なるように形成してもよい。

さらに、反射防止構造としては、孔部に深さ方向に向かうに従い先細るテーパを有する構成としてが、これに限定されるものではなく、要は、複屈折可能な凹凸が形成されていればよく、例えば凸部を形成したり、孔部と凸部の組み合わせにより形成してもよい。また、各1ピッチによって孔部であったり、凸部であったり異なるように構成してもよい。

当然のことながら、これら基材ないしは光学素子の形状に応じて金型の形状もそれに対応すよう変更する必要がある。

さらに、上述の実施の形態では、傾斜部及び側壁部の回折格子構造の描画と、反射防止構造の描画とを1回の走査で描画する手順について説明したが、このような手順に限らず、反射防止構造が孔部などにより構成される場合には、先ず回折格子構造の描画を行った後に、反射防止構造の描画を行うようにしてもよい。

また、少なくとも曲面部を有する基材に対して、回折格子の少なくとも1ピッチ部分を傾けて形成する場合、基材に少なくとも溝部（あるいは稠密なピッチで溝部が形成される場合）を有する構成であってもよい。さらに、基材としては、曲面部を有しなくとも、少なくとも傾斜面が形成されているものであってもよい。また、基材が平面あるいは傾斜面であって、電子ビームを所定角度で傾斜した状態で照射する場合であってもよい。

また、反射防止構造として、曲面部に光が入射する場合について説明したが、光が出射する場合や、それらの組み合わせすなわち、入出射する場合であってもよい。

以上説明したように上記態様によれば、曲面部上に回折格子構造を有する基材

上に反射防止構造として、連続的な屈折率分布をもたせる凹凸を形成することにより、反射を防止させることができる。さらに、回折格子構造を持たない基材にも適用できる。

また、高密度化に伴い、曲面部の曲率が大きくなったとしても、周辺部での表面反射を低減し、偏向の向きによる透過率の違いも低減できる。これにより、検出信号の読み取り処理においてピックアップ機能の低下が生じない。さらに、回折格子を付与したものに関しても、格子密度による入射角度の増大に起因するピックアップ機能の低下を取り除くことができる。

なお、前記反射防止構造としては、種々のものが考えられるが、特に深さ方向に向かうに従い先細るテーパを有する孔部を複数形成することが、表面反射率の低減に顕著となる。

また、基材を金型を用いて射出成形により製造できるため、製造にかかるコストダウンを図ることができる。この基材を射出成形する際には、同時に反射防止機能の附加を行うことができ、プロセスの追加の必要がない。このため、従来のようにレンズ1つ1つに蒸着プロセスを実施する場合に比べると大幅な製造コストの低減並びに、工数の低減を図ることができ、光学部品の低コスト化につながる。

加えて、偏向の向きによる透過率の違いも低減でき、検出信号の読み取り処理においてピックアップ機能の低下が生じ得ない。なお、DVD、CD互換、収差補正のために、回折格子を付与したものは、格子密度があり、さらに入射角度の増え方が大きくなり表面反射に基づくピックアップ機能低下の影響が大きくなるこ

とが考えられるが、このような場合であっても、ピックアップ機能が低下する事態を回避することができる。

次に偏光分離素子や波長板等に関連する他の好適な実施の形態の一例について、図面を参照して具体的に説明する。

[第6の実施の形態]

(基材について)

本発明の被描画基材では、光レンズの一面に偏光分離構造あるいは波長板の機能(複屈折位相構造)を形成したことに特徴を有する。

(偏光分離構造)

先ず、このような特徴を有する電子ビームにより描画される被描画基材について、図31～図35を参照しつつ説明する。図31には、基材上に描画される描画パターン並びにその細部の描画形状が開示されている。

同図に示すように、本実施形態の被描画基材(以下、基材という)902上に描画される描画パターンの一例として円描画が開示されており、被描画面に曲面部902aを有する基材902の描画部分の一部であるE部分を拡大してみると、基材902は、複数の凹凸からなる偏光分離構造903が形成されている。なお、基材902としては、光学素子例えば、ピックアップレンズ等にて構成することが好ましい。

偏光分離構造903は、該曲面部902aに入射する光もしくは出射する光を、該光の進行方向と交差する面内で少なくとも互いに垂直な方向に振動する二つの偏光成分、TE波、TM波に偏光分離する機能を有し、凸部903aと凹部90

3 bとを有する。

より詳細には、図31に示すF部を拡大した図に示すように、偏光分離構造903の凸部903aは、第1の幅d1を有する第1の凸部903aaと、前記第1の幅d1と異なる第2の幅d2を有する第2の凸部903abを有し、第1、第2の凸部903aa、903abとが間隔をおいて複数形成される。そして、第1の凸部903aaと第2の凸部903abの間には、幅狭の第1の凹部903ba、幅広の第2の凹部903bbが形成され、この第1、第2の凹部903ba、903bbとで凹部903bを構成する。なお、これら第1、第2の凸部903aa、903abは、各々高さd4に形成され、第1の凸部903aa、第2の凸部903ab、第1の凹部903ba、第2の凹部903bbを一つの長さd3を単位として、複数の周期構造が構成されることとなる。なお、周期内の構造を非対称にすることにより、垂直に入射する光に対しても偏光分離を行うことができる。

本実施の形態の基材902では、曲面部902a上にこのような周期構造を構成することにより、当該構造を透過する光を、TE波（進行方向に垂直な面内において磁界成分を有しない電界成分のみの波）、TM波（進行方向に垂直な面内において電界成分を有しない磁界成分のみの波）、に分離することが可能となる。

ここに、図31におけるd1、d2、d3、d4の具体的な数値としては、例えば、基材902の屈折率 $n=1.92$ 、波長を λ とすると、 $d1=0.25\lambda$ 、 $d2=0.39\lambda$ 、 $d3=2\lambda$ 、 $d4=1.22\lambda$ とするのが好ましい。

このようにした場合における偏光分離構造903にて生成されるTM波、TE

波の波の様子をFDTD法等により解析した結果を、図35 (A) (B) にそれぞれ示す。同図 (A) では、前記偏光分離構造903によって生じ得たTM波の様子が開示されており、一方、同図 (B) では、前記偏光分離構造903によって生じ得たTE波の様子が開示されている。

但し、同図においては、いずれも、図中の下方向から上方向に向けて光が入るものとし（基材を想定した場合は、基材の曲面部から出射する光がTE波、TM波に分離する場合）、縦軸の数値「10」の位置付近から上側に向かって無限に広がる平面波を想定している。なお、横軸は、偏光分離構造G2の横方向に沿った位置を示し（単位 $\times 20\text{ nm}$ ）、縦軸は、偏光分離構造G2に垂直な上方向に沿った位置（単位 nm ）を示している。また、この図においては、波長 λ が 250 nm である場合を想定している。

これらの図に示すように、図31に示すような形状の凹凸による偏光分離構造903（図35 (A) (B) においては偏光分離構造G2）を形成した場合には、図35 (A) (B) に示すように、TM波A3、TE波A4を各々良好に生成することが可能となる。従って、上記 $d1 \sim d4$ を、上述にて示した数値に設定することが、TE波、TM波を良好に分離生成する上で好ましいと言える。

しかしながら、要は、「進行波をTE波、TM波に分離する」という偏光分離構造としての機能を達成できるものであれば、その複屈折構造における寸法 $d1 \sim d4$ の寸法設定、ないしは、その凹凸構造は、上述した例に限定されるものではないことは言うまでもない。

このように、曲面部902a上において、図31に示すような形状の凹凸によ

る偏光分離構造 903 を構成することにより、光をTE波、TM波に偏光分離することが可能になる。なお、厳密には、TE波、TM波の透過率の配分比は、例えば、1次では、TE波が0.575で、TM波が0.036となり、0次では、TE波が0.031で、TM波が0.574となり、-1次では、TE波が0.036で、TM波が0.016となるが、-1次は無視し得るほど小さいので問題とはならない。

(複屈折位相構造)

次に、複屈折位相構造を備えた被描画基材について、図32を参照して説明する。図32には、基材上に描画される描画パターン並びにその細部の描画形状が開示されている。

同図に示すように、基材4上に描画される描画パターンの一例として円描画が開示されており、被描画面に曲面部4aを有する基材4の描画部分の一部であるE部分を拡大してみると、基材4は、複数の凹凸からなる複屈折位相構造5が形成されている。なお、基材4としては、光学素子例えば、ビクアップレンズ等にて構成することが好ましい。

複屈折位相構造5は、該曲面部4aに入射する光もしくは出射する光である、該光の進行方向と交差する面内で少なくとも互いに垂直な方向に振動する二つの偏光成分TE波、TM波のうち、一方の偏光であるTE波と、他方の偏光であるTM波との間に位相差 ϕ を生じせしめる機能を有し、凸部5aと凹部4bとを有する。

より詳細には、図32に示すF部を拡大した図に示すように、複屈折位相構造

5は、前記偏光分離構造903と異なり、第1の幅d5を有する凸部5aと、前記第1の幅d5より短い第2の幅d6を有する凹部5bとが交互に位置することで形成される周期構造を有する。なお、凸部5aの高さはd7にて形成されているものとする。

本実施の形態の基材4では、曲面部4a上にこのような周期構造を構成することにより、当該構造を透過する光のうち、TE波と、TM波との間に位相差 ϕ を生じさせることが可能となる。

ここに、図31におけるd5、d6、d7の具体的な数値としては、例えば、基材4の屈折率 $n=2$ 、波長を λ とすると、 $d5:d6=7:3$ 、 $d7=1\lambda$ とするのが好ましい。なお、この場合は、例えば $1/4$ 波長板と同等の機能を有する場合を想定しているがこれに限定されるものではなく、 $1/2$ 波長板、1波長板等と同等の機能を有するよう構成しても構わない。

このようにした場合における複屈折位相構造5にて位相差が生じ得るTM波、TE波の波の様子をFDTD法等により解析した結果を、図34(A)(B)にそれぞれ示す。同図(A)では、前記複屈折位相構造5によって生じ得たTM波の様子が開示されており、一方、同図(B)では、前記複屈折位相構造5によって生じ得たTE波の様子が開示されている。

但し、同図においては、いずれも、図中の下方向から上方向に向けて光が入るものとし(基材を想定した場合は、基材の曲面部から出射する光のTE波、TM波に位相差が生じる場合)、縦軸の数値「10」の位置付近から上側に向かって無限に広がる平面波を想定している。なお、横軸は、複屈折位相構造G1の横方向

に沿った位置を示し(単位 $\times 20\text{ nm}$)、縦軸は、複屈折位相構造G1に垂直な上方向に沿った位置(単位 nm)を示している。また、この図においては、波長 λ が 500 nm である場合を想定している。

これらの図に示すように、図32に示すような形状の凹凸による複屈折位相構造5(図34(A)(B)においては複屈折位相構造G1)を形成した場合には、図4(A)(B)に示すように、TM波A1、TE波A2を所定の位相差にて各々良好に生成することが可能となる。従って、上記d5~d7を、上述にて示した数値に設定することが、TE波、TM波に対する位相差を良好に生成する上で好ましいと言える。

しかしながら、要は、「TE波、TM波に位相差を生じさせる」という複屈折位相構造としての機能を達成できるものであれば、その複屈折構造における寸法d5~d7の寸法設定、ないしは、その凹凸構造は、上述した例に限定されるものではないことは言うまでもない。

このように、曲面部902a上において、図32に示すような形状の凹凸による複屈折位相構造5を構成することにより、TE波、TM波に位相差を生じさせることが可能になる。

次に、上述のような偏光分離構造903を有する素子902mと、複屈折位相構造5を有する素子904mとにより構成される簡単な光学系を用いて、光を偏光するあるいは位相差を生じさせる原理について説明する。

光学系KOは、図33に示すように、レーザーLaからのレーザー光L1は、素子902mにより所定の光束の平行光となり、素子902mにより収束され光磁

気記録媒体Mに照射される。光磁気記録媒体Mからのレーザー反射光L2は、素子902mに入光して再び平行光となり、素子902mを介して収束され光検出器SEに入射する。

この際、レーザー反射光L2では、素子902mにおいて、TE波とTM波の各々に位相差が生じ得、素子902mでは、TE波、TM波が分離され、光検出器SEに入射する。

以上のように、3次元的な描画で曲面部を描画する際にあわせ、サブ波長オーダーの凹凸による周期構造を描画し、前記基材に偏光分離構造を形成することにより、最終的に、一面に偏光分離構造を備えた光レンズなどを形成することも可能となることから、従来の偏光分離素子に変えて各種機器に適用することもできよう。

というのも、前記基材に基づいて金型を構成することにより、射出成形による最終成形品として偏光分離構造を有した素子を、順次量産できるからである。従って、従来のように、偏光分離素子を一つ一つ形成する際の各プロセスにおける手間、時間を鑑みると、製造コストの大幅な低減並びに生産性の向上を図ることができる。

同様に、前記基材に複屈折位相構造を形成することにより、最終的に、一面に複屈折位相構造たる波長板機能を備えた光レンズなどを形成することも可能となることから、従来の波長板に変えて各種機器に適用することもできよう。

というのも、前記基材に基づいて金型を構成することにより、射出成形による最終成形品として波長板機能を有した素子を、順次量産できるからである。従っ

て、従来のように、波長板を一つ一つ形成する際の各プロセスにおける手間、時間を鑑みると、製造コストの大幅な低減並びに生産性の向上を図ることができる。このような偏光分離構造を有する基材、ないしは、複屈折位相構造を有する基材を形成するための電子ビーム描画装置の具体的構成と描画のための制御については前述した通りである。

(ドーズ分布)

図33には、所望のドーズ分布にて描画するための電子ビーム描画装置の制御については前記第3～第5の態様と同様である。

この際、格納手段は、第2の基材の曲面部上に回折格子構造を形成する際に、曲面部上の傾斜位置に応じて傾斜する回折格子の各ピッチ部分のドーズ量を加味した走査位置に対するドーズ量分布を予め定義したドーズ分布の特性を格納している。

また、制御手段は、第1の基材に曲面部並びに偏光分離構造を描画する場合に、測定手段にて測定された描画位置に基づき、電子レンズの電流値を調整して電子ビームの焦点位置を描画位置に応じて可変制御し、第2の基材に曲面部並びに回折格子構造を描画する場合に、測定手段にて測定された描画位置に基づき、電子レンズの電流値を調整して前記電子ビームの焦点位置を描画位置に応じて可変制御するとともに、焦点位置における焦点深度内について、格納手段の前記ドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出しつつ前記基材の曲面部上並びに偏光分離構造部分の描画を行うように制御する。これにより、第1、第2の基材を各々独立して描画し、描画後の工程にて前記第1、第2の基材を1つの基材

として生成することができる。

なお、第1の基材上に複屈折位相構造を形成し、第2の基材上に回折格子構造を形成する場合も同様である。

さらに、制御手段は、ドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出した前記基材並びに凹凸部分の描画を行うように制御する。あるいは、曲面部に回折格子の少なくとも1ピッチ部分を傾けて形成する際に、当該部分のドーズ量を加味した走査位置に対するドーズ量分布を予め定義したドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出した前記基材の曲面部並びに凹凸部分の描画を行うように制御する。

さらに、制御手段は、測定手段にて測定された描画位置に基づき、電子レンズの電流値を調整して前記電子ビームの焦点位置を前記描画位置に応じて可変制御するとともに、前記焦点位置における焦点深度内について、ドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出した前記基材の描画を行うように制御する。

また、制御手段は、測定手段にて測定された描画位置に基づき、駆動手段により載置台を昇降させて、電子ビーム照射手段にて照射された電子ビームの焦点位置を前記描画位置に応じて可変制御するとともに、前記焦点位置における焦点深度内について、前記格納手段の前記ドーズ分布の特性に基づいて、当該ドーズ量を算出した前記基材の描画を行うように制御する。

(制御系の具体的構成)

次に、前記円描画を正多角形で近似して直線的に走査する場合の各種処理を行うための制御は前述と同様である。

(処理手順について)

次に、上述のような構成を有する基材を、3次元的に描画可能な電子ビーム描画装置を用いて作成する際の処理手順について、図35～図36を参照しつつ説明する。前述の態様と異なるステップについて以下に説明する。

S3114において本実施態様では、対象とする同一焦点深度内について、一番外側(n番目)のラインのドーズ量及び多角形の始点、終点の計算をする。そして、一定のドーズにて描画することとなる(S3114)。フィールドの同一焦点内の領域と描画すべき線分は、S3114中に示される通りである。そして、上記S3113からS3114を規定回数実施する(S3116)。

このようにして、前記S109からS117を規定回数実施する(S118)ことで、電子ビームにより曲面部に偏光分離構造を有する基材、ないしは、複屈折位相構造を有する基材の形成を行うことができる。

以上のように本実施の形態によれば、3次元的な描画で曲面部を描画する際にあわせ、サブ波長オーダーの凹凸による周期構造を描画し、前記基材に偏光分離構造を形成することにより、最終的に、一面に偏光分離構造を備えた光レンズなどを形成することも可能となることから、従来の偏光分離素子に変えて各種機器に適用することもできる。

また前記基材に基づいて金型を構成することにより、射出成形による最終成形品として偏光分離構造を有した素子を、順次量産できる。従って、従来のように、偏光分離素子の一つ一つ形成する際の各プロセスにおける手間、時間を鑑みると、製造コストの大幅な低減並びに生産性の向上を図ることができる。

また、前記基材に複屈折位相構造を形成した場合、最終的に、一面に複屈折位相構造たる波長板機能を備えた光レンズなどを形成することも可能となることから、従来の波長板に変えて各種機器に適用することもでき、前記基材に基づいて金型を構成することにより、射出成形による最終成形品として波長板機能を有した素子を、順次量産できる。

〔第7の実施の形態〕

次に、本発明にかかる第7の実施の形態について、図37～図38に基づいて説明する。なお、以下には、前記第6の実施の形態の実質的に同様の構成に関しては説明を省略し、異なる部分についてのみ述べる。

上述の第6の実施の形態では、電子ビームにより基材上に偏光分離構造などの精密加工を施す工程を開示したが、本実施の形態では、上記工程を含むプロセス全体の工程、特に、光学素子等の光レンズを射出成形によって製造するための金型等を製造する工程を説明する。

まず、機械加工により金型（無電解ニッケル等）の非球面加工を行う（加工工程）。次に、図37（A）に示すように、金型により前記半球面を有する基材200の樹脂成形を行う（樹脂成形工程）。さらに、基材200を洗浄した後に乾燥を行う。

次いで、樹脂の基材200の表面上の処理を行う（樹脂表面処理工程）。具体的には、図37（B）に示すように、基材200の位置決めを行い、塗布材であるレジストLを滴下しつつスピナーを回転させて、スピコートを行う。また、プリベークなども行う。

スピンコーティングの後には、当該レジスト膜の膜厚測定を行い、レジスト膜の評価を行う（レジスト膜評価工程）。そして、図37（C）に示すように、基材200の位置決めを行い、当該基材200をX、Y、Z軸にて各々制御しつつ前記第11の実施の形態のように3次元の電子ビームにより偏光分離構造202を有する曲面部の描画を行う（描画工程）。

次に、基材200上のレジスト膜1の表面平滑化処理を行う（表面平滑化工程）。さらに、図37（D）に示すように、基材200の位置決めなどを行いつつ、現像処理を行う（現像工程）。さらにまた、表面硬化処理を行う。

次いで、SEM観察や膜厚測定器などにより、レジスト形状を評価する工程を行う（レジスト形状評価工程）。さらに、その後、ドライエッチングなどによりエッチング処理を行う。

この際、偏光分離構造202のJ部を拡大すると、凸部202aと凹部202bとを有し、さらにF部を拡大した図においては、偏光分離構造202の凸部202aは、第1の幅d1を有する第1の凸部202aaと、前記第1の幅d1と異なる第2の幅d2を有する第2の凸部202abを有し、第1、第2の凸部202aa、202abとが間隔をおいて複数形成される。そして、第1の凸部202aa、第2の凸部202abの間には、幅狭の第1の凹部202ba、幅広い第2の凹部202bbが形成され、この第1、第2の凹部202ba、202bbとで凹部202bを構成する。

次に、表面処理がなされた基材200に対する金型204を作成するために、図38（A）に示すように、金型電鍍前処理を行った後、電鍍処理などを行い、

図38 (B) に示すように、基材200と金型204とを剥離する処理を行う。

表面処理がなされた基材と剥離した金型204に対して、表面処理を行う（金型表面処理工程）。そして、金型204の評価を行う。

この際、金型204には、K部を拡大して示すと、前記基材200の凸部、凹部に対応するように、凹部205a、凸部205bからなる構造205が形成されることとなる。

このようにして、評価後、当該金型204を用いて、図38に示すように、射出成形により成形品を作成する。その後、当該成形品の評価を行う。

この際、図38 (C) に示すように、射出成形品210には、前記第11の実施の形態の基材同様の構成が完成され、曲面部上に複数の非対称の凹凸からなる偏光分離構造212が形成される。そして、J部を拡大して示すと、凸部212aと凹部212bとを有し、さらにF部を拡大した図においては、偏光分離構造212の凸部212aは、第1の幅d1を有する第1の凸部212aaと、前記第1の幅d1と異なる第2の幅d2を有する第2の凸部212abを有し、第1、第2の凸部212aa、212abとが間隔をおいて複数形成される。そして、第1の凸部212aa、第2の凸部212abの間には、幅狭の第1の凹部212ba、幅広の第2の凹部212bbが形成され、この第1、第2の凹部212ba、212bbとで凹部212bを構成する。

以上のように、本実施の形態によれば、前記第11の実施の形態の基材として光学素子（例えばレンズ）を形成する場合に、3次元描画装置を用いて曲面部を描画する際にあわせ、サブ波長オーダーの凹凸からなる偏光分離構造を描画し、

金型形状として偏光分離構造を成形させる様にし、当該光学素子を金型を用いて射出成形により製造できるため、製造にかかるコストダウンを図ることができる。

また、金型として偏光分離機能を持った構造を附加することにより、レンズを射出成形する際に、同時に機能附加でき、プロセスの追加の必要がない。このため、金型自体のコストアップ、ショット可能数（100万回程度）が増大するものの、従来のように偏光分離素子たる偏光ビームスプリッタ等の基材1つ1つにプロセスを実施する場合に比べると大幅なコストダウン、工数の低減を図ることができる。

さらに、プラスチックレンズの射出成型の過程で、偏光分離構造を同時に作り込むことができるので、偏光分離素子の作成工程が不要になり、光学部品の低コスト化につながる。

特に、曲面部構造を持たない、射出成形で作成されるレンズにも適用でき、各種のステップを除くことにより、大幅なコスト低減を行うことが可能である。

〔第8の実施の形態〕

次に、本発明にかかる第8の実施の形態について、図39～図40に基づいて説明する。上記第7の実施の形態では、偏光分離構造を有する基材に関するプロセス全体の工程について説明したが、本実施の形態では、複屈折位相構造たる波長板の機能を有する基材に関するプロセス全体の工程、特に、光学素子等の光レンズを射出成形によって製造するための金型等を製造する工程を説明する。

先ず、機械加工により金型（無電解ニッケル等）の非球面加工を行う（加工工程）。次に、図39（A）に示すように、金型により前記半球面を有する基材22

0の樹脂成形を行う（樹脂成形工程）。さらに、基材220を洗浄した後に乾燥を行う。

次いで、樹脂の基材220の表面上の処理を行う（樹脂表面処理工程）。具体的には、図39（B）に示すように、基材220の位置決めを行い、塗布材であるレジストLを滴下しつつスピナーを回転させて、スピコートを行う。また、プリベークなども行う。

スピコーティングの後には、当該レジスト膜の膜厚測定を行い、レジスト膜の評価を行う（レジスト膜評価工程）。そして、図39（C）に示すように、基材220の位置決めを行い、当該基材220をX、Y、Z軸にて各々制御しつつ前記第11の実施の形態のように3次元の電子ビームにより複屈折位相構造222を有する曲面部の描画を行う（描画工程）。

次に、基材220上のレジスト膜Lの表面平滑化処理を行う（表面平滑化工程）。さらに、図39（D）に示すように、基材220の位置決めなどを行いつつ、現像処理を行う（現像工程）。さらにまた、表面硬化処理を行う。

次いで、SEM観察や膜厚測定器などにより、レジスト形状を評価する工程を行う（レジスト形状評価工程）。さらに、その後、ドライエッチングなどによりエッチング処理を行う。

この際、複屈折位相構造222のJ部を拡大すると、凸部222aと凹部222bとを有し、さらにF部を拡大した図においては、複屈折位相構造222は、第1の幅d5を有する凸部222aと、前記第1の幅d5より短い第2の幅d6を有する凹部222bとが交互に位置することで形成される周期構造を有する。

なお、凸部222aの高さはd7にて形成されているものとする。

次に、表面処理がなされた基材220に対する金型224を作成するために、図40(A)に示すように、金型電鍍前処理を行った後、電鍍処理などを行い、図40(B)に示すように、基材220と金型224とを剥離する処理を行う。

表面処理がなされた基材と剥離した金型224に対して、表面処理を行う（金型表面処理工程）。そして、金型224の評価を行う。

この際、金型224には、K部を拡大して示すと、前記基材220の凸部、凹部に対応するように、凹部225a、凸部225bからなる構造225が形成されることとなる。

このようにして、評価後、当該金型224を用いて、図40に示すように、射出成形により成形品を作成する。その後、当該成形品の評価を行う。

この際、図40(C)に示すように、射出成形品240には、前記第11の実施の形態の基材同様の構成が完成され、曲面部上に複数の凹凸からなる複屈折位相構造242が形成される。そして、J部を拡大して示すと、第1の幅d5を有する凸部242aと、前記第1の幅d5より短い第2の幅d6を有する凹部242bとが交互に位置することで形成される周期構造を有する。なお、凸部242aの高さはd7にて形成されているものとする。

以上のように、本実施の形態によれば、前記第11の実施の形態の基材として光学素子（例えばレンズ）を形成する場合に、3次元描画装置を用いて曲面部を描画する際にあわせ、サブ波長オーダーの凹凸からなる複屈折位相構造を描画し、金型形状として複屈折位相離構造を成形させる様にし、当該光学素子を金型を用

いて射出成形により製造できるため、製造にかかるコストダウンを図ることができる。

また、金型として波長板機能を持った構造を附加することにより、レンズを射出成形する際に、同時に機能附加でき、プロセスの追加の必要がない。このため、金型自体のコストアップ、ショット可能数（100万回程度）が増大するものの、従来のように波長板等の基材1つ1つにプロセスを実施する場合に比べると大幅なコストダウン、工数の低減を図ることができる。

さらに、プラスチックレンズの射出成型の過程で、波長板機能を同時に作り込むことができるので、波長板の作成工程が不要になり、光学部品の低コスト化につながる。

特に、曲面部構造を持たない、射出成形で作成されるレンズにも適用でき、各種のステップを除くことにより、大幅なコスト低減を行うことが可能である。

[第9の実施の形態]

次に、本発明にかかる第9の実施の形態について、図41に基づいて説明する。図41は、本発明に係る第9の実施の形態を示す機能ブロック図である。

本実施の形態においては、上述の電子ビーム描画装置にて描画された被描画基材（基材）（ないしは射出成形により樹脂成形された成形品である光学素子）を用いた電子機器の一例である光ピックアップ装置の一例を開示している。

図41において、光ピックアップ装置400は、半導体レーザー401、コリメートレンズ402（第1の光学素子）、分離プリズム403、対物レンズ404（第2の光学素子）、DVD、CD等の光磁気ディスク405（光磁気記録媒体）、

集光レンズ1406（第3の光学素子）、シリンドリカルレンズ1407、分割光検出器408を有する。

このうち、本実施の形態においては、上述の各実施の形態の偏光分離構造を含む光学素子を、（曲面部の有無は問わない）例えば、コリメータレンズ402に、複屈折位相構造（波長板の機能）を含む光学素子を、例えば、対物レンズ404に適用している。すなわち、コリメータレンズ402は、偏光分離構造402aを有し、対物レンズ404は、複屈折位相構造404aを有する。

上記のような構成を有する光ピックアップ装置400において、半導体レーザー401からのレーザー光は、コリメータレンズ402で平行光となる。この際、偏光分離構造402aにて、光路が近接したP、S両偏光からなる2つの光束に分離される。これら光束を含む平行光は、分離プリズム403で対物レンズ404側に反射され、対物レンズ404によって回折限界まで集光されて光磁気ディスク405（光磁気記録媒体）に照射される。

光磁気ディスク405からのレーザー反射光は、対物レンズ404に入光して再び平行光となる。この際、複屈折位相構造404aにより、前記P、S両偏光の光束には位相差が生じ得、偏光方位を所定角度にて回転した後、分離プリズム403を透過し、光路が近接したP、S両偏光からなる2つの光束は、それぞれ集光レンズ1406、シリンドリカルレンズ1407によって集光されて、分割光検出器408の分離受光領域（受光素子）にそれぞれのスポットを形成する。

以上のように本実施の形態においては、一面に偏光分離構造を備えた（一体形成された）光レンズ、一面に複屈折位相構造を備えた光レンズを用いることによ

り、従来のような専用の偏光ビームスプリッタや波長板を使用する必要がなく部材点数、取付部品数を低減して大幅なコストダウンを図ることができる。

また、偏光分離素子や波長板などの配設が不要となるために、部材配設の占有空間が低減され、光ピックアップ装置の小型化を図ることができ、さらには、ピックアップ装置の光学系にかかる調整が不要となる。

さらには、光ピックアップ装置においては、小型一体化を容易にし、トラッキング機構を単純化できる。

なお、上述の実施の形態においては、偏光分離構造をコリメータレンズに、複屈折位相構造を対物レンズに構成する場合について例示したが、これに限定されるものではなく、他の種々のレンズ、例えば、集光レンズ、シリンドリカルレンズ等に各種の偏光分離構造、ないしは、複屈折位相構造を形成する場合であってももちろんよい。

[第10の実施の形態]

次に、本発明にかかる第10の実施の形態について、図42～図43に基づいて説明する。

基材の曲面部上に形成される偏光分離構造としては、上述の第10の実施の形態のような構成に限らず、図42に示すような構成であってもよい。

同図に示すように、基材410の曲面部410a上に構成される偏光分離構造412においては、第1の幅を有する第1の凸部412aと前記第1の幅と異なる第2の幅を有する第1の凹部412abとが交互に複数例えば4個形成された第1の凹凸部412aと、前記第1、第2の幅と異なる第3の幅にて形成され

た第2の凹部412bとが交互に形成される周期構造をなしている。

また、図43に示す構成では、第1の凹凸部412aにおける第1の凸部412aaの数を2個の場合を開示している。いずれにしても、入射光に対して、出射光をTE波並びにTM波に分離することが可能となる。

〔第11の実施の形態〕

次に、本発明にかかる第11の実施の形態について、図44に基づいて説明する。上述の第11の実施の形態では、基材の一面に偏光分離構造を構成する場合について説明したが、本実施の形態では、基材の一方の面に偏光分離構造を形成し、基材の他方の面にブレース状の回折格子構造を形成する場合について開示してある。

具体的には、基材420の一方側の曲面部420a上においては、図44に示すように、描画される描画パターンの一例として円描画が開示されており、被描画面に描画部分の一部であるE部分を拡大してみると、基材420は、複数の凹凸からなる偏光分離構造422が形成されている。なお、基材420としては、光学素子例えば、ピックアップレンズ等にて構成することが好ましい。

偏光分離構造422は、該曲面部420aに入射する光もしくは出射する光を、該光の進行方向と交差する面で少なくとも互いに垂直な方向に振動する二つの偏光成分、TE波、TM波に偏光分離する機能を有し、凸部422aと凹部422bとを有する。

より詳細には、図44に示すF部分を拡大した図に示すように、偏光分離構造422の凸部422aは、第1の幅d1を有する第1の凸部422aaと、前記第

1の幅 d_1 と異なる第2の幅 d_2 を有する第2の凸部422abを有し、第1、第2の凸部422aa、422abとが間隔をおいて複数形成される。そして、第1の凸部422aaと第2の凸部422abの間には、幅狭の第1の凹部422ba、幅広の第2の凹部422bbが形成され、この第1、第2の凹部422ba、422bbとで凹部422bを構成する。なお、これら第1、第2の凸部422aa、422abは、各々高さ d_4 に形成され、第1の凸部422aa、第2の凸部422ab、第1の凹部422ba、第2の凹部422bbを一つの長さ d_3 を単位として、複数の周期構造が構成されることとなる。なお、周期内の構造を非対称にすることにより、垂直に入射する光に対しても偏光分離を行うことができる。

本実施の形態の基材420では、曲面部420a上にこのような周期構造を構成することにより、当該構造を透過する光を、TE波（進行方向に垂直な面内において磁界成分を有しない電界成分のみの波）、TM波（進行方向に垂直な面内において電界成分を有しない磁界成分のみの波）、に分離することが可能となる。

ここに、図44における d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 の具体的な数値としては、例えば、基材2の屈折率 $n=1.92$ 、波長を λ とすると、 $d_1=0.25\lambda$ 、 $d_2=0.39\lambda$ 、 $d_3=2\lambda$ 、 $d_4=1.22\lambda$ とするのが好ましい。

ここまでは、第11の実施の形態同様である。本実施の形態においては、さらに、基材420の他方の面側の曲面部420bに回折格子構造であるブレース426を構成している。

具体的には、基材420の他方の曲面部420b側の一部を拡大してみると、

基材420は、複数のブレード426からなる回折格子構造が形成されている。

ブレード426は、傾斜426b及び側壁部426aを形成し、当該側壁部426bは、周方向に沿って平面状に複数形成されている。

より詳細には、基材420の他方の面側（裏面）は、少なくとも一面に形成された曲面部420bを有し、回折格子を傾けて各ピッチL1毎に形成し、この回折格子の少なくとも1ピッチL1に、当該ピッチの区切り目位置にて前記曲面部420aより立ち上がる側壁部426aと、隣接する各側壁部426a、426a間に形成された傾斜部426bと、側壁部426aと傾斜部426bとの境界領域に形成された溝部426cとが形成されている。そして、ブレード形状は、曲面部420bの周囲に向かうに従い傾斜する構成となることが好ましい。なお、この回折格子構造は、後述するように、曲面部420a上に塗布された塗布剤（レジスト）を描画することにより形成されることが好ましい。なお、傾斜部426bには、該傾斜部426bより入射する光の反射を防止する反射防止構造を形成してもよい。

以上のように本実施の形態においては、基材の一方の面に偏光分離構造を形成し、他方の面に回折格子構造たる複数のブレードを形成することにより、互換性のあるCD、DVD互換における収差補正を行うことが可能となり、CD、DVD互換で光ピックアップ装置を適用できる。また、ブレードが曲面部の周囲に向かうに従い、急となる構成とすることにより、格子密度による入射角度の増大に起因するピックアップ機能の低下を取り除くことができる。

なお、本実施の形態においては、基材の一方の面に偏光分離構造、基材の他方

の面に回折格子構造を構成する場合について例示したが、当然のことながら、基材の一方の面に複屈折位相構造、基材の他方の面に回折格子構造を構成する場合であっても、もちろんよい。

〔第12の実施の形態〕

次に、本発明にかかる第12の実施の形態について、図45～図47に基づいて説明する。

上述の第11の実施の形態では、基材の一方の曲面部に偏光分離構造を、他方の面に回折格子構造を構成した例について開示したが、本実施の形態では、上記構造を製造するためのプロセス全体の工程、特に、光学素子等の光レンズを射出成形によって製造するための金型等を製造する工程を説明する。

なお、基材の一方の曲面部に、偏光分離構造ないしは、複屈折位相構造を構成する場合のプロセスについては、上記第12の実施の形態ないしは第13の実施の形態と同様であるので省略し、基材の他方の曲面部に回折格子構造を形成するための製造プロセスを中心に説明することとする。

先ず、機械加工により金型（無電解ニッケル等）の非球面加工を行う（加工工程）。次に、図45（A）に示すように、金型により前記半球面を有する基材430の樹脂成形を行う（樹脂成形工程）。さらに、基材430を洗浄した後に乾燥を行う。

次いで、樹脂の基材430の表面上の処理を行う（樹脂表面処理工程）。具体的には、図45（B）に示すように、基材430の位置決めを行い、塗布材たるレジストLを滴下しつつスピナーを回転させて、スピンコートを行う。また、プリ

パークなども行う。

スパインコーティングの後には、当該レジスト膜の膜厚測定を行い、レジスト膜の評価を行う（レジスト膜評価工程）。そして、図45（C）に示すように、基材430の位置決めを行い、当該基材430をX、Y、Z軸にて各々制御しつつ前記第11の実施の形態のように3次元の電子ビームにより回折格子構造を有する曲面部の描画を行う（描画工程）。

この際、回折格子構造たるブレードを形成する際には、第11の実施の形態に示した図36のS3114を以下のようにするとともに、以下のS115を行うことが好ましい。

具体的には、対象とする同一焦点深度内について、一番外側（n番目）のラインのドーズ量及び多角形の始点、終点の計算をする。なお、スタート（始点）、エンド（終点）は、隣のフィールドとのつなぎ点とする（S3114）。この際、始点、終点は整数にするものとし、ドーズ量は、ラジアル位置（入射角度）で決まった最大ドーズ量と格子の位置で決められた係数に最大ドーズ量を掛け合わせたもので表される。

次いで、S3114で与えられたドーズによって決定されるドーズ分布 $DS(x, y)$ にて描画を行う（S115）。この際、斜面（傾斜部）のうち浅い部分（頂部）については、ドーズ分布 DS は、ブロード、深い部分（溝部）はシャープにすることが好ましい。これにより、当該ドーズ分布を与えることにより、回折格子構造の描画の描画を（1回の走査によって）描画することができる。そして、S113からS115を規定回数実施し（S116）、XYZステージの移動、

次のフィールドの描画を行う準備を行い（S117）、前記S109からS117を規定回数実施する（S118）ことで、電子ビームにより曲面部に回折格子構造を有する基材の形成を行うことができる。

図45に説明を戻すと、次に、基材430上のレジスト膜Lの表面平滑化処理を行う（表面平滑化工程）。さらに、図45（D）に示すように、基材430の位置決めなどを行いつつ、現像処理を行う（現像工程）。さらにまた、表面硬化処理を行う。

次いで、SEM観察や膜厚測定器などにより、レジスト形状を評価する工程を行う（レジスト形状評価工程）。さらに、その後、ドライエッチングなどによりエッチング処理を行う。

この際、回折格子構造432のU部を拡大すると、傾斜部432b及び側壁部432aからなる複数のブレードにて回折格子構造が形成されている。このブレードは、周辺部に向かうに従い回折格子面の角度が急となるように形成することが好ましい。

次に、表面処理がなされた基材430に対する金型434を作成するために、図46（A）に示すように、金型電鍍前処理を行った後、電鍍処理などを行い、図46（B）に示すように、基材430と金型434とを剥離する処理を行う。

表面処理がなされた基材と剥離した金型434に対して、表面処理を行う（金型表面処理工程）。そして、金型434の評価を行う。

この際、金型434には、V部を拡大して示すと、前記基材430のブレードに対応するように、凹部435が形成され、これら各凹部435には、前記基材

430の傾斜部432bの孔部形状に対応するように、複数の凸部435が形成されることとなる。

ここで、基材の一方の曲面部に偏光分離構造、基材の他方の曲面部に回折格子構造を有する場合には、前記評価後、当該金型434と前記第12の実施の形態の金型204とを相対向して配置し、図46(C)に示すように、射出成形により成形品を作成する。その後、当該成形品の評価を行う。

この際、図46(C)に示すように、射出成形品440には、前記第11の実施の形態の基材同様の構成が完成される。具体的には、図47に示すように、基材450の一方の曲面部に偏光分離構造452、基材450の他方の曲面部に回折格子構造456が形成される。そして、J部を拡大して示すと、偏光分離構造452を構成する凹部452b、凸部452aが各々構成されることとなる。

さらに、F部を拡大した図においては、偏光分離構造452の凸部452aは、第1の幅d1を有する第1の凸部452aaと、前記第1の幅d1と異なる第2の幅d2を有する第2の凸部452abを有し、第1、第2の凸部452aa、452abとが間隔をおいて複数形成される。そして、第1の凸部452aa、第2の凸部452abの間には、幅狭の第1の凹部452ba、幅広の第2の凹部452bbが形成され、この第1、第2の凹部452ba、452bbとで凹部452bを構成する。

また、他方の曲面部上においては、回折格子構造たるブレース456が形成されており、U部を拡大して示すと、側壁部456a及び傾斜部456bよりなるブレース456が構成されることとなる。

一方、基材の一方の曲面部に複屈折位相構造、基材の他方の曲面部に回折格子構造を有する場合には、前記評価後、当該金型434と前記第13の実施の形態の金型224とを相対向して配置し、射出成形により成形品を作成する。その後、当該成形品の評価を行う。

この際、図46(C)に示すように、射出成形品440には、基材の一方の曲面部に複屈折位相構造、基材の他方の曲面部に回折格子構造が形成され、K部を拡大して示すと、複屈折位相構造を構成する凹部、凸部が各々構成されることとなる。具体的には、図47に示すように、基材450の一方の曲面部に複屈折位相構造、基材450の他方の曲面部に回折格子構造456が形成される。そして、J部を拡大して示すと、複屈折位相構造を構成する凹部、凸部が各々構成されることとなる。

さらに、F部を拡大した図においては、複屈折位相構造454は、第1の幅d5を有する凸部454aと、前記第1の幅d5より短い第2の幅d6を有する凹部454bとが交互に位置することで形成される周期構造を有する。なお、凸部455aの高さはd7にて形成されているものとする。

また、他方の曲面部上においては、回折格子構造たるブレース456が形成されており、U部を拡大して示すと、側壁部456a及び傾斜部456bよりなるブレース456が構成されることとなる。

以上のように本実施の形態によれば、3次元描画装置を用いて第1の基材の曲面部に対して偏光分離構造あるいは複屈折位相構造を描画し、この第1の基材に基づいて第1の金型を作成する一方、第2の基材の曲面部に対して回折格子構造

たるブレード形状を描画し、この第2の基材に基づいて第2の金型を作成し、この第1、第2の金型を相対応して配置して射出成形を行うことにより、基材の一方の曲面部上に偏光分離構造、ないしは、複屈折位相構造を形成し、基材の他方の曲面部上に回折格子構造たるブレード形状を形成した一つの基材を構成することができる。

なお、上記実施の形態においては、回折格子構造を形成する形成面を曲面部上としてが、平面部上に回折格子構造を構成する場合であってもよい。また、複屈折位相構造、ないしは偏光分離構造を平面部上に構成する場合であってもよい。

このようにして、光学素子を金型を用いて射出成形により製造できるため、製造にかかるコストダウンを図ることができる。また、金型として偏光分離素子、波長板、回折格子構造を持った構造を附加することにより、レンズを射出成形する際に、同時に機能附加でき、プロセスの追加の必要がない。このため、金型自体のコストアップ、ショット可能数（100万回程度）が増大するものの、従来のようにレンズ1つ1つに蒸着プロセスを実施する場合に比べると大幅なコストダウン、工数の低減を図ることができる。

さらに、プラスチックレンズの射出成型の過程で、偏光分離素子、波長板、回折格子構造を同時に作り込むことができるので、光学部品の低コスト化につながる。

[第13の実施の形態]

次に、本発明にかかる第13の実施の形態について、図48に基づいて説明する。図48は、本発明に係る第13の実施の形態を示す機能ブロック図である。

本実施の形態においては、上述の第6、第12の実施の形態にて開示された基材（ないしは射出成形により樹脂成形された成形品である光学素子）を用いた電子機器の一例である光ピックアップ装置の一例を開示している。

図48において、光ピックアップ装置460は、半導体レーザー461、コリメータレンズ462、分離プリズム463、対物レンズ464、DVD、CD等の光磁気ディスク465（光磁気記録媒体）、集光レンズ466、シリンダリカルレンズ467、分割光検出器468を有する。

このうち、本実施の形態においては、上述の第11の実施の形態の偏光分離構造を含む光学素子を、（曲面部の有無は問わない）例えば、コリメータレンズ462に、上述の第6、7の実施の形態の一面に複屈折位相構造（波長板の機能）を有し他方の面に回折格子構造を含む光学素子を、例えば、対物レンズ464に適用している。すなわち、コリメータレンズ462は、偏光分離構造462aを有し、対物レンズ464は、複屈折位相構造464a並びに回折格子構造464bを有する。

上記のような構成を有する光ピックアップ装置460において、半導体レーザー461からのレーザー光は、コリメータレンズ462で平行光となる。この際、偏光分離構造462aにて、光路が近接したP、S両偏光からなる2つの光束に分離される。これら光束を含む平行光は、分離プリズム463で対物レンズ464側に反射され、対物レンズ464によって回折限界まで集光されて光磁気ディスク465（光磁気記録媒体）に照射される。

光磁気ディスク465からのレーザー反射光は、対物レンズ464に入光して

再び平行光となる。この際、複屈折位相構造464aにより、前記P、S両偏光の光束には位相差が生じ得、偏光方位を所定角度にて回転した後、分離プリズム463を透過し、光路が近接したP、S両偏光からなる2つの光束は、それぞれ集光レンズ466、シリンドリカルレンズ467によって集光されて、分割光検出器468の分離受光領域（受光素子）にそれぞれのスポットを形成する。

さらに、対物レンズ464には、回折格子構造464bが形成されているために、互換性のあるCD、DVD互換における収差補正を行うことが可能となる。なお、回折格子構造たるブレイズが曲面部の周囲に向かうに従い、急となる構成とすることにより、格子密度による入射角度の増大に起因するピックアップ機能の低下を取り除くことができる。

以上のように本実施の形態においては、一面に偏光分離構造を備えた（一体形成された）光レンズ、一面に複屈折位相構造を備えた光レンズを用いることにより、従来のような専用の偏光ビームスプリッタや波長板を使用する必要がなく部材点数、取付部品数を低減して大幅なコストダウンを図ることができる。

また、偏光分離素子や波長板などの配設が不要となるために、部材配設の占有空間が低減され、光ピックアップ装置の小型化を図ることができ、さらには、ピックアップ装置の光学系にかかる調整が不要となる。

さらには、光ピックアップ装置においては、小型一体化を容易にし、トラッキング機構を単純化できる。

なお、上述の実施の形態においては、複屈折位相構造並びに回折格子構造を対物レンズに構成する場合について例示したが、これに限定されるものではなく、

他の種々のレンズ、例えば、集光レンズ、シリンドリカルレンズ等に各種の偏光分離構造、ないしは、複屈折位相構造を形成する場合であってももちろんよい。

なお、本発明にかかる装置と方法は、そのいくつかの特定の実施の形態に従って説明してきたが、当業者は本発明の主旨および範囲から逸脱することなく本発明の本文に記述した実施の形態に対して種々の変形が可能である。

また、少なくとも曲面部を有する基材に対して、回折格子の少なくとも1ピッチ部分を傾けて形成する場合、基材に少なくとも溝部（あるいは稠密なピッチで溝部が形成される場合）を有する構成であってもよい。さらに、基材としては、曲面部を有しなくとも、少なくとも傾斜面が形成されているものであってもよい。また、基材が平面あるいは傾斜面であって、電子ビームを所定角度で傾斜した状態で照射する場合であってもよい。

また、基材の一方の面に偏光分離構造ないしは複屈折位相構造、基材の他方の面に回折格子構造を形成する際に、第1、第2の基材、第1、第2の金型を用いる場合について例示したが、一つの厚みのある基材に対して一方の面に描画した後他方の面を描画し、一つに基材に対して金型を作成して製造する場合であってもよい。

以上説明したように本発明によれば、3次元的な描画で曲面部を描画する際にあわせ、被描画基材に偏光分離構造を形成することにより、最終的に、一面に偏光分離構造を備えた光レンズなどを形成することも可能となることから、従来の偏光分離素子に変えて各種機器に適用することもできる。

これにより、被描画基材に基づいて金型を構成することにより、射出成形によ

[illegible][illegible][illegible]

Figure 1

(A) Schematic diagram of the experimental setup. A laser beam is focused onto a sample surface, creating a plasma. The plasma emits light, which is collected by a lens and directed towards a photodiode detector.

(B) Photograph of the experimental setup showing the laser source, lens, sample, and detector.

(C) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(D) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broader peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(E) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(F) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(G) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(H) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(I) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(J) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(K) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(L) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(M) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(N) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(O) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(P) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(Q) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(R) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(S) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(T) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(U) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(V) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(W) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(X) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

(Y) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a very sharp peak at approximately 10 ns, indicating the onset of the plasma emission.

(Z) Plot of the measured signal (Y-axis) versus time (X-axis). The signal shows a broad peak centered around 20 ns, indicating the duration of the plasma emission.

[illegible][illegible]

数、取付部品数を低減して大幅なコストダウンを図ることができる。

さらに、偏光分離素子や波長板などの配設が不要となるために、部材配設の占有空間が低減され、光ピックアップ装置の小型化を図ることができ、さらには、ピックアップ装置の光学系にかかる調整が不要となる。さらには、光ピックアップ装置においては、小型一体化を容易にし、トラッキング機構を単純化できる。

なお、上述の実施の形態1～13では、光レンズ等の光学素子の基材を、直接描画する場合について説明したが、樹脂等の光レンズを射出成形により形成するための成形型（金型）を加工する場合に、上述の原理や処理手順、処理手法を用いてもよい。

また、基材としては、DVDやCDなどに用いられるピックアップレンズの例を開示したが、回折格子のない対物レンズ、回折格子ピッチ 20μ のDVD-C/D互換レンズ、回折格子ピッチ 3μ の高密度ブルーレーザ互換対物レンズなどに適用することも可能である。

さらに、基材として光学素子を用いる場合に、当該基材を有する電子機器としては、上述したDVD、CD等の読取装置に限らず、多の種々の光学機器であってもよい。

また、基材上の複数の基準点を測定し、この測定結果に基づき基準座標系を算出し、この座標系をもとに基材の厚み分布を測定するステップを、電子ビーム照射中に行う構成としてもよい。さらに、厚み分布に基づき、最適焦点位置を算出する算出ステップ並びに描画位置に当該焦点位置を合わせるように調整するステップを、電子ビーム照射中に行う構成としてもよい。この場合、ある一の描画位

置にて描画を行っている電子ビーム照射中に、他の描画位置での前記焦点位置の算出等の演算処理を行いつつ、次に電子ビーム照射に備える構成とすることが好ましい。また、電子ビーム照射中に算出ステップにて算出できるものとしては、基材の厚み分布の他、厚み分布の補正等の処理も含まれる。

また、上述の実施の形態の電子ビーム描画装置において処理される処理プログラム、説明された処理、メモリ内のデータ（各種テーブル等）の全体もしくは各部を情報記録媒体に記録した構成であってもよい。この情報記録媒体としては、例えばROM、RAM、フラッシュメモリ等の半導体メモリ並びに集積回路等を用いてよく、さらに当該情報を他のメディア例えばハードディスク等に記録して構成して用いてよい。

What is claimed is:

1. 微細パターンを有する光学素子を形成するための光学素子加工方法であって、以下を有する、

光学素子に対応し、被描画層を含む基材に、所定のパターンを形成するための描画ステップ、

ここで前記被描画層が曲面を有するとともに、前記被描画層に対して電子ビームを照射することにより、前記所定のパターンの描画を行う。

2. claim 1 の光学素子加工方法であって、前記所定のパターンは電子ビームの露光エネルギー量の制御により形成される。

3. claim 2 の光学素子加工方法であって、前記露光エネルギー量の制御により、加工深さを変化させる。

4. claim 3 の光学素子加工方法であって、電子ビームの前記焦点位置における焦点深度内で、電子ビームの前記露光エネルギー量が制御される。

5. claim 1 の光学素子加工方法であって、前記電子ビームの基材に対する焦点位置の調整は電子レンズを制御し、焦点深度の高さ位置を移動制御することにより実行される。

6. claim 1 の光学素子加工方法であって、前記電子ビームは基材上のレジスト層に対して照射される。

7. claim 1 の光学素子加工方法であって、さらに以下を有する、
前記所定のパターンが描画された基材に基づき金型を形成するステップ
金型に対して射出成形を行い、光学素子を形成するステップ。

8. claim 1 の光学素子加工方法であって、さらに以下のステップを含む、
前記電子ビームを照射した基材を現像する現像ステップ、
現像された前記基材の表面で電鍍処理を行うことにより金型を形成する電鍍ステップ。

9. claim 8 の光学素子加工方法であって、ここで前記電鍍処理の前に基材はエッチング処理される。

10. claim 1 の光学素子加工方法であって、前記電子ビームによる描画は2つの基材に対して独立して行われ、それぞれの基材によって形成された第1、第2の金型を互いに相対向して配置させ、射出成形により、それぞれの面に前記特定のパターンを有する光学素子を形成する。

11. claim 10 の光学素子加工方法であって、一方の基材に偏光分離構造、他方の基材に回折格子構造が描画される。

12. claim 10 の光学素子加工方法であって、一方の基材に複屈折位相構造、他方の基材に回折格子構造が描画される。

13. 被描画層を含む基材に、所定のパターンを形成するための基材の描画方法であって、以下のステップを有する、

前記被描画層が曲面を有するとともに、前記被描画層に対して電子ビームを照射することにより、前記所定のパターンの描画を行うステップ。

14. claim 13 の基材の描画方法であって、前記所定のパターンは電子ビームの露光エネルギー量の制御により形成される。

15. claim 14 の基材の描画方法であって、前記露光エネルギー量はドーズ量に対応して制御される。

16. claim 14 の基材の描画方法であって、前記露光エネルギー量の制御により、加工深さを変化させる。

17. claim 16 の基材の描画方法であって、電子ビームの前記焦点位置におけ

る焦点深度内で、電子ビームの前記露光エネルギー量が制御される。

18. claim 13 の基材の描画方法であって、前記基材に対する電子ビームの焦点位置を相対的に変化することにより、前記所定のパターンの描画が行われる。

19. claim 18 の基材の描画方法であって、前記焦点位置の変化は、前記電子ビームの焦点位置の調整により行われる。

20. claim 19 の基材の描画方法であって、前記電子ビームの焦点位置の調整は電子レンズを制御し、焦点深度の高さ位置を移動制御することにより実行される。

21. claim 20 の基材の描画方法であって、前記電子ビームの焦点位置の調整は電子レンズの電流値の制御により実行される。

22. claim 18 の基材の描画方法であって、前記焦点位置の変化は、前記基材の移動による位置調整により行われる。

23. claim 18 の基材の描画方法であって、前記焦点位置の変化は、前記電子ビームの焦点位置の調整もしくは前記基材の移動による位置調整のいずれか一方又は双方により行われる。

24. claim 23 の基材の描画方法であって、さらに前記描画位置の少なくとも高さ位置を算出する算出ステップを含む。

25. claim 24 の基材の描画方法であって、さらに記位置調整を行いながら、前記被描画層に対する描画を行う描画ステップを含む。

26. claim 25 の基材の描画方法であって、前記描画ステップは、算出された前記描画位置に基づき、3次元の基準座標系における単位空間である一つのフィールドについて描画を行うステップと、一つのフィールドに対する描画を行った後、他のフィールドに対して前記算出ステップ並びに位置調整ステップを再度行いつつ描画を行うステップとを含む。

27. claim 24 の基材の描画方法であって、さらに予め基材の厚み分布を測定する厚み分布測定ステップを有する。

28. claim 27 の基材の描画方法であって、前記算出ステップでは、前記基材の厚み分布に基づき、前記描画位置の少なくとも高さ位置が算出される。

29. claim 27 の基材の描画方法であって、前記電子ビームの照射中に、前記基材の厚み分布を測定するステップを有する。

30. claim 27 の基材の描画方法であって、さらに前記電子ビームの照射中に、複数の基準点位置を測定する基準点測定ステップ、および前記電子ビームの照射中に、前記基準点位置に基づき、前記厚み分布を補正する補正ステップを含む。

31. claim 30 の基材の描画方法であって、前記厚み分布測定ステップは、予め測定された前記基材上の複数の基準点に基づき、前記基材における 3 次元の第 1 の基準座標系を算出するステップと、前記第 1 の基準座標系での前記描画位置の少なくとも第 1 の高さ位置を算出するステップとを含み、前記補正ステップは、前記基材を描画ステージ上に搭載した際に測定される複数の基準点に基づき、前記基材における 3 次元の第 2 の基準座標系を算出するステップと、前記第 1 の高さに相当する前記第 2 の基準座標系での前記第 2 の高さを、前記電子ビームの前記描画位置における高さ位置として算出するステップとを含む。

32. claim 30 の基材の描画方法であって、前記基準点測定ステップは、前記電子ビームとはほぼ直交する方向から前記基材に対して光ビームを照射するステップと、前記光ビームに基づき、前記基材を透過する光強度分布を検出するステップと、前記光強度分布に基づき、前記基準点の高さ位置を算出するステップと、を含む。

33. claim 30 の基材の描画方法であって、前記基準点測定ステップは、前

記電子ビームと交差する方向から前記基材に対して第1の光ビームを照射し、前記第1の光ビームに基づき、前記基材の平坦部を反射する第1の光強度分布を検出するステップと、前記第1の光ビームと異なる前記電子ビームとほぼ直交する方向から前記基材に対して第2の光ビームを照射し、前記第2の光ビームに基づき、前記基材を透過する第2の光強度分布を検出するステップと、前記第1の強度分布に基づき、前記基材の平坦部上の高さ位置を算出し、前記第2の強度分布に基づき、前記基材の平坦部より突出する曲面部上の高さ位置を算出するステップとを含む。

34. claim 24 の基材の描画方法であって、前記算出ステップは、予め測定された前記基材上の複数の基準点に基づき、前記基材における3次元の第1の基準座標系を算出するステップと、前記第1の基準座標系での前記描画位置の少なくとも第1の高さ位置を算出するステップと、前記基材を描画ステージ上に搭載した際に測定される複数の基準点に基づき、前記基材における3次元の第2の基準座標系を算出するステップと、前記第1の高さに相当する前記第2の基準座標系での前記第2の高さを、前記電子ビームの前記描画位置における高さ位置として算出するステップとを含む。

35. claim 24 の基材の描画方法であって、前記算出ステップは、前記電子ビーム照射中に行われる。

36. claim 23 の基材の描画方法であって、前記位置調整ステップは、前記電子ビーム照射中に行われる。

37. claim 13 の基材の描画方法であって、前記電子ビームは基材上のレジスト層に対して照射される。

38. claim 13 の基材の描画方法であって、前記基材の被描画面に形成される前記所定のパターンは、光学素子上の特定のパターンに対応するものである。

39. claim 38 の基材の描画方法であって、前記特定のパターンは回折格子構造を含む。

40. claim 39 の基材の描画方法であって、前記回折格子構造は走査位置に応じた所定のドーズ量分布に基づき、形成される。

41. claim 40 の基材の描画方法であって、前記ドーズ量分布の特性は予め定義されている。

42. claim 40 の基材の描画方法であって、前記ドーズ量分布の特性は前記曲面部上の傾斜する傾斜角度に応じて抽出されたものである。

43. claim 38 の基材の描画方法であって、前記特定のパターンは表面反射防止用のパターンを含む。

44. claim 43 の基材の描画方法であって、前記表面反射防止用のパターンのための凹凸を形成する際に、当該凹凸部分のドーズ量を加味した走査位置に対するドーズ量分布を、ドーズ分布の特性に基づいて算出し、前記基材の描画を行う。

45. claim 44 の基材の描画方法であって、前記ドーズ量分布の特性は予め定義されている。

46. claim 43 の基材の描画方法であって、前記特定のパターンは回折格子構造および前記表面反射防止用のパターンを有する。

47. claim 46 の基材の描画方法であって、前記基材の曲面部に回折格子の少なくとも1ピッチ部分を傾けて形成し、かつ、当該1ピッチ部分に対して表面反射防止用の凹凸が形成される。

48. claim 47 の基材の描画方法であって、前記ドーズ量分布の特性は前記曲面部上の傾斜する傾斜角度に応じて抽出されたものである。

49. claim 47 の基材の描画方法であって、前記回折格子の少なくとも1ピッ

チは、当該ピッチの区切り目位置にて前記基材上に立ち上がる側壁部と、隣接する各側壁部間に形成された傾斜部と、を有し、前記傾斜部に当該凹凸が形成される。

50. claim 47 の基材の描画方法であって、前記凹凸は、テーパーを有する多数の孔部からなる。

51. claim 50 の基材の描画方法であって、前記傾斜部の面積に対する孔部の面積比が所定の比率となるように描画される。

52. claim 46 の基材の描画方法であって、前記回折格子の少なくとも 2 ピッチは、当該ピッチの区切り目位置にて前記基材上に立ち上がる側壁部と、隣接する各側壁部間に形成された傾斜部と、を有し、前記傾斜部に該傾斜部より入射または出射する光の反射を防止するように前記反射防止構造が設けられる。

53. claim 46 の基材の描画方法であって、さらに以下のステップを含む、
前記基材の曲面部に回折格子の少なくとも 1 ピッチ部分を傾けて形成する際に、走査位置に対するドーズ量に基づき前記基材の前記曲面部の描画を行うステップと、

前記 1 ピッチの回折格子に対して表面反射防止用の凹凸を形成する際に、当該凹凸部分のドーズ量分布に基づいて前記凹凸の描画を行うステップ。

54. claim 43 の基材の描画方法であって、前記反射防止構造は、構造的複屈折される複数の凹凸からなる。

55. claim 43 の基材の描画方法であって、前記反射防止構造は、複数の孔部を含む。

56. claim 55 の基材の描画方法であって、前記孔部は、深さ方向に向かうに従い先細る形状である。

57. claim 55 の基材の描画方法であって、前記孔部の開口径は、サブミクロン単位に形成される。

58. claim 43 の基材の描画方法であって、前記反射防止構造は入射または出射する光の反射を防止する構造である。

59. claim 38 の基材の描画方法であって、前記特定のパターンは偏光分離構造を含む。

60. claim 59 の基材の描画方法であって、前記偏光分離構造は断面略凹凸形状でかつ平面略円状である。

61. claim 60 の基材の描画方法であって、前記偏光分離構造において、第 1 の幅を有する第 1 の凸部と、前記第 1 の幅と異なる前記第 2 の幅を有する第 2 の凸部とが間隔をおいて複数形成される。

62. claim 60 の基材の描画方法であって、前記偏光分離構造において、第 1 の幅を有する第 1 の凸部と前記第 1 の幅と異なる第 2 の幅を有する第 1 の凹部とが交互に形成された第 1 の凹凸部と、前記第 1、第 2 の幅と異なる第 3 の幅にて形成された第 2 の凹部とが交互に形成される。

63. claim 59 の基材の描画方法であって、前記偏光分離構造は、入射または出射する光を、該光の進行方向と交差する面内で少なくとも互いに垂直な方向に振動する二つの偏光成分に偏光分離する構造を有する。

64. claim 59 の基材の描画方法であって、前記偏光分離構造は平行光を光路が近接した P、S 両偏光からなる複数の光束に分離する構造を有する。

65. claim 38 の基材の描画方法であって、前記特定のパターンは複屈折位相構造を含む。

66. claim 65 の基材の描画方法であって、前記複屈折位相構造は断面略凹凸

形状でかつ平面略円状である。

67. claim 66 の基材の描画方法であって、前記複屈折位相構造は、第 1 の幅を有する凸部と、前記第 1 の幅より短い第 2 の幅を有する凹部とが交互に形成される。

68. claim 65 の基材の描画方法であって、前記複屈折位相構造は入射または出射する少なくとも互い垂直な方向に振動する各直線偏光のうち、一方の直線偏光と他方の直線偏光とに位相差を生じせしめる構造である。

69. claim 65 の基材の描画方法であって、前記複屈折位相構造は複数の光束のうち少なくとも P、S 両偏光を有する光束に位相差を生じせしめる構造である。

70. 被描画層を含む基材に、所定のパターンを形成するための描画装置であって、以下を有する、

曲面を有する前記被描画層に対応して、前記基材に対する電子ビームの焦点位置を相対的に移動する移動手段、

前記被描画層に対して電子ビームを照射することにより、前記所定のパターンの描画を行うための電子ビーム照射手段。

71. claim 70 の描画装置であって、前記電子ビーム照射手段は前記電子ビー

ム照射手段にて照射された電子ビームの焦点位置を可変とするための電子レンズを有し、

基材上に描画される描画位置に応じて、前記電子レンズの電流値を調整し、前記移動手段における前記電子ビームの焦点位置を可変制御する。

72. claim 70 の描画装置であって、さらに前記電子ビームを照射することで描画される被描画面に曲面を有する基材を載置する載置台、および

前記載置台を駆動する駆動手段を有し、

基材上に描画される描画位置に応じて、前記駆動手段により前記載置台を昇降させて、前記移動手段における前記電子ビームの焦点位置を可変制御する。

73. claim 70 の描画装置であって、前記測定手段は、さらに以下を含む、

前記基材に対して斜め方向から照射する第1の照射光を照射し、前記基材を通過した第1透過光を受光する第1の光学系と、

前記基材に対してほぼ水平方向から照射する第2の照射光を照射し、前記基材を透過した第2の透過光を受光する第2の光学系と、

前記第1の光学系にて検出された第1の光強度分布に基づき、前記基材の平坦部における前記描画位置の高さ位置を算出するとともに、前記第2の光学系にて検出された第2の光強度分布に基づき、前記基材の平坦部より突出する曲面部における前記描画位置の高さ位置を算出する測定算出手段。

74. claim 70 の描画装置であって、前記基材が該装置に載置される前に、予め前記基材上の基準点位置を測定するための第2の測定手段を有する。

75. Claim 1 の方法によって、形成された光学素子。

76. claim 75 の光学素子であって、曲面上に回折格子構造を有する。

77. claim 76 の光学素子であって、さらに前記曲面上に前記表面反射防止用のパターンを有する。

78. claim 77 の光学素子であって、前記基材の曲面部に回折格子の少なくとも1ピッチ部分を傾けて形成し、かつ、当該1ピッチ部分に対して表面反射防止用の凹凸を有する。

79. claim 78 の光学素子であって、前記回折格子の少なくとも1ピッチは、当該ピッチの区切り目位置にて前記基材上に立ち上がる側壁部と、隣接する各側壁部間に形成された傾斜部と、を有し、前記傾斜部に当該凹凸を有する。

80. claim 78 の光学素子であって、前記凹凸は、テーパを有する多数の孔部からなる。

81. claim 10 の方法によって、形成された光学素子。

82. claim 81 の光学素子であって、一方の面に回折格子構造を有し、他方の面に偏光分離構造を有する。

83. claim 81 の光学素子であって、一方の面に回折格子構造を有し、他方の面に複屈折位相構造を有する。

84. claim 81 の光学素子であって、一方の面に複屈折位相構造を有し、他方の面に偏光分離構造を有する。

85. claim 13 の方法によって、形成された基材。